

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

**FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUIMICA**

**UNIDAD DE POSTGRADO**

**Tratamiento cuarentenario contra la mosca  
mediterráneo (*Ceratitis capitata*) en mangos variedad  
Haden (*Manguífera indica*) con irradiación gamma  
(Co-60)**

**TESIS**

para optar el grado académico de Magíster en Ciencia de los Alimentos

**AUTORA**

María Elena Peña Cuadros

**ASESORES**

Gladys Arias M.

Rafael Guillén Encinas

**Lima – Perú**

**2008**

Para aquellos con quienes he  
compartido sonrisas y lágrimas. Pero  
sobre todo sonrisas y complicidades.

**MIS AMIGOS**

**ASESOR**

Dra. Gladys Arias M.

**CO-ASESOR**

Biólogo Rafael Guillén Encinas

Director del Programa Nacional de Moscas de la Fruta-SENASA

## **AGRADECIMIENTO**

1. A todos los catedráticos de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por su ayuda, dedicación y amistad que me brindaron para hacer de mí una verdadera profesional.
2. A la Dra. Gladys Arias, docente de la Unidad de Postgrado de la Facultad de Farmacia y Bioquímica y Asesora del presente trabajo de Investigación, por sus invalores consejos y valioso apoyo.
3. Al Biólogo Rafael Guillén Encinas, Director del Programa Nacional de Moscas de la Fruta del SENASA, co-asesor del presente trabajo de investigación, por el apoyo desinteresado y ser uno de los pilares en mi formación profesional.
4. Al Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), por depositar su confianza y brindarme todas las facilidades en la realización del presente trabajo de investigación.
5. Al Servicio Nacional de Sanidad Agraria por permitirme llegar a una Institución Pública, y poder efectuar el presente trabajo de Investigación en el Centro de Producción de Moscas de la Fruta Estériles.

## RESUMEN

Las Moscas de la Fruta en especial la ***Ceratitis capitata Wiedemann*** es una de las plagas más dañinas del mundo, ataca a más de 250 especies frutícolas y hortalizas, constituyendo la principal restricción fitosanitarias para su exportación. El Organismo Internacional de Energía Atómica dentro del **PROYECTO RLA/5/043 (ARCAL XXXIII) “REGLAMENTO CUARENTENARIO ARMONIZADO PARA LA IRRADIACIÓN DE FRUTAS FRESCAS”** y la participación de Argentina, Brasil, Cuba, Chile, México, Perú y Venezuela inician investigaciones para demostrar la viabilidad y validar la irradiación como tratamiento cuarentenario. Perú inicia las investigaciones a través del Instituto Peruano de Energía Nuclear, dando lugar a esta investigación, realizado en el Centro de Producción de Moscas de la Fruta Estériles del SENASA y el laboratorio de la PIMU supervisado por el experto del OIEA Ing. Guy Hallman. La investigación consistió en dos etapas: 1° determinar la dosis mínima efectiva de irradiación a la cual no haya emergencia de mosca adulta (prueba de bioensayo), 2° la evaluación de 30000 individuos a la dosis mínima efectiva, que proporciona datos estadísticamente confiables (prueba confirmatoria); confirmándose que a 0,1kGy no hay emergencia; de la evaluación química y organoléptica se determinó que no existe diferencia significativa frente a los mangos que no fueron tratados.

## SUMMARY

Tephritidae fruit flies are among the most damaging pests of fruit crops worldwide. *Ceratitis capitata wiedemann*, for instance, can infest more than 250 fruit and vegetable crop species, and constitutes the main phytosanitary constrain for export purposes. The International Atomic Energy Agency through the **Project RLA/5/043 (ARCAL XXXIII) “ARMONIZED QUARANTINE REGULATION FOR THE IRRADIATION OF FRESH FRUITS”**, along with Argentina, Brazil, Cuba, Chile, Mexico, Peru, and Venezuela, initiated investigations to demonstrate viability of irradiation as a quarantine treatment and to validate it as such. Besides, Peru began investigations through the Peruvian Institute of Nuclear Energy by carrying out a research at both SENASA’s Production Center of Sterile Fruit Flies and PIMU’s laboratory; it was supervised by Dr. Guy Hallman, an OIEA’s irradiation expert. This research comprised two stages: 1) Determine the minimum irradiation dose to avoid emergence of fruit fly adults (bioassay test), and 2) Evaluate 30,000 individuals (having been exposed to the minimum effective dose) to provide statistically reliable data (confirmatory test). It was confirmed that no adult emergence occurred at 0.1 kGy, and no significant differences were found between treated and non-treated mangoes when both chemical and organoleptic tests were applied.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
GENERALIDADES	3
2.1 La irradiación de alimentos	3
2.1.1 Tipos de radiactividad.	4
2.1.2 Irradiación de alimentos.	6
2.1.3 Instalaciones para irradiación de alimentos.	9
2.1.4 Aplicaciones de la irradiación en frutas y hortalizas.	11
2.1.5 Niveles de dosis empleados en la irradiación de alimentos.	16
2.1.6 Efectos del procesamiento de irradiación en el alimento.	17
2.1.7 Efectos sobre los macronutrientes de frutas y hortalizas.	21
2.1.8 Efectos de la irradiación en insectos.	24
2.1.9 Aspectos técnicos y legales de la irradiación de alimentos.	26
2.2 El mango.	28
2.2.1 Clasificación taxonómica.	29
2.2.2 Valor nutritivo.	29
2.2.3 Aspectos agrícolas.	31
2.2.4 Momento de la cosecha y determinación del grado de madurez.	31
2.2.5 Manejo postcosecha.	35
2.2.6 Zonas producción en el Perú.	38
2.3 Exportación de mango.	39
2.3.1 Variedades de mango para exportación.	40
2.4 Las moscas de la fruta.	41
2.4.1 Problemática mundial.	42
2.4.2 Las especies de moscas de la fruta en el mundo	43
2.4.3 Las especies de las moscas de la fruta en el Perú.	45
2.4.4 Morfología de las moscas de la fruta.	46

2.4.5	Ciclo biológico.	47
2.4.6	La especie <i>ceratitis capitata</i> wiedemann.	50
2.4.6.1	Ciclo biológico.	50
2.4.6.2	Comportamiento de <i>ceratitis capitata</i> wiedemann.	54
2.5	La irradiación como alternativa de tratamiento de cuarentena para la exportación de frutas frescas.	59
2.5.1	Desinfestación de moscas de la fruta.	61
	MATERIAL MÉTODOS	64
3.1	Lugar de ejecución	64
3.2	Materiales	64
3.2.1	Materia prima y material biológico.	64
3.2.2	Materiales.	64
3.2.3	Dieta para colonia de moscas.	65
3.2.4	Reactivos químicos.	65
3.3	Equipos.	65
3.4	Metodología del trabajo de investigación.	66
3.4.1	Dosimetría.	66
3.4.2	Obtención de las muestras y material biológico.	67
3.4.3	Prueba de bioensayo.	67
3.4.4	Prueba confirmatoria.	70
3.4.5	Pruebas de calidad.	72
3.4.5.1	Evaluación sensorial.	72
3.4.5.2	Determinación de pH.	73
3.4.5.3	Determinación de acidez.	73
3.4.5.4	Determinación de sólidos solubles totales.	73
3.5	Diseño experimental.	74
	RESULTADOS	75
4.1	Características iniales del mango.	75
4.2	Prueba de bioensayo.	75
4.3.	Prueba confirmatoria.	77
4.4	Pruebas de calidad.	78
4.4.1	Evaluación sensorial.	78
4.4.2	Determinación de pH.	80
4.4.2.1	Análisis estadístico para determinación de pH	81



4.4.3	Determinación de acidez titulable.	82
4.4.3.1	Análisis estadístico para determinación de acidez titulable.	82
4.4.4	Determinación de sólidos solubles.	83
4.4.4.1	Análisis estadístico para determinación de sólidos solubles.	84
	DISCUSIÓN	86
5.1	Emergencia de adultos.	86
5.2	Pruebas de calidad.	89
5.2.1	Evaluación sensorial.	89
5.2.2	Determinación de pH.	90
5.2.3	Determinación de acidez titulable.	90
5.2.4	Contenido de sólidos solubles totales.	91
	CONCLUSIONES	93
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
	ANEXO	

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1:	Niveles de tratamientos y efectos de la irradiación.....	15
Cuadro 2:	Ventajas e inconvenientes de la irradiación.....	20
Cuadro 3:	Efecto del tratamiento con calor y con radiaciones en el valor nutritivo de frijoles y arvejas.....	21
Cuadro 4:	Efecto de la radiación gamma sobre la vitamina A en frutas y verduras.....	24
Cuadro 5:	Composición química del mango.....	30
Cuadro 6:	Zonas de producción de mango para exportación y áreas de producción.....	38
Cuadro 7:	Volúmenes de exportación de mango haden y país de destino.....	39
Cuadro 8:	Volúmenes de exportación de mango por campaña de exportación y variedad.....	41
Cuadro 9:	Distribución mundial de los principales géneros de <b><i>tephritidae</i></b> .....	44
Cuadro 10:	Distribución regional de las principales moscas de la fruta....	44
Cuadro 11:	Moscas de la fruta en el Perú, y sus hospedantes más frecuentes.....	47
Cuadro 12:	Biología de moscas de la fruta de importancia económica y cuarentenaria para el Perú.....	48
Cuadro 13:	Especies de moscas de la fruta de importancia económica en el Perú, hospederos y su distribución.....	58
Cuadro 14:	Relación de plantas de tratamiento y empacadoras registradas, campaña 2004-2005.....	60
Cuadro 15:	Resultados de la prueba de bioensayo de la dosis 1.....	76
Cuadro 16:	Resultados de la prueba de bioensayo de la dosis 2.....	76
Cuadro 17:	Resultados de la prueba de bioensayo de la dosis 3.....	76
Cuadro 18:	Resultados de la prueba de bioensayo de la dosis 4.....	76
Cuadro 19:	Porcentaje de emergencia de mosca adulta, al irradiar a 0,10 kGy con rayos gamma (Co-60), mangos infestados con larvas de tercer estadio de <b><i>ceratitis capitata</i></b> .....	78

Cuadro 20:	Resultados de la evaluación sensorial, parámetro olor a la dosis mínima efectiva de irradiación (0,1 kGy).....	79
Cuadro 21:	Resultados de la evaluación sensorial, parámetro color a la dosis mínima efectiva de irradiación (0,1 kGy).....	79
Cuadro 22:	Resultados de la evaluación sensorial, parámetro sabor a la dosis mínima efectiva de irradiación (0,1 kGy).....	79
Cuadro 23:	Resultados de la evaluación sensorial, parámetro textura a la dosis mínima efectiva de irradiación (0,1 kGy).....	80
Cuadro 24:	Resultados de determinación de pH a diferentes dosis de irradiación.....	80
Cuadro 25:	Prueba de Tukey al 5% en determinación de pH.....	81
Cuadro 26:	Resultados de determinación de acidez a diferentes dosis de irradiación.....	82
Cuadro 27:	Prueba de Tukey para acidez en mangos irradiados con diferentes dosis.....	83
Cuadro 28:	Resultados de determinación de sólidos solubles a diferentes dosis de irradiación.....	84
Cuadro 29:	Prueba de Tukey al 5% en determinación de sólidos Solubles.....	84
Cuadro 30:	N° de moscas emergidas a diferentes dosis.....	87
Cuadro 31:	Dosis especulativa para lograr seguridad cuarentenaria de larvas de tercer estadio de moscas mediterráneas de acuerdo a varios estudios.....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Incidencia de un fotón en un átomo.....	06
Figura 2:	Formación de radicales libres por efecto de la irradiación en una molécula de agua.....	18
Figura 3:	Símbolo "Radura". debe aparecer impreso en verde en el etiquetado de los productos alimenticios tratados por irradiación.....	27
Figura 4:	Mango variedad "Haden".....	29
Figura 5:	Características externas del mango Haden en su desarrollo fisiológico para su cosecha. Al no tener los hombros desarrollados no se recomienda aún su recolección.....	33
Figura 6:	Desarrollo adecuado del mango Haden, con un desarrollo externo adecuado para ser cosechado.....	33
Figura 7:	Color de la pulpa del mango en sus diferentes estados de madurez.....	34
Figura 8:	Penetrómetro.....	34
Figura 9:	El penetrómetro y la posición de la medición de la textura del mango.....	35
Figura 10:	Paletizado de cajas de mangos.....	38
Figura 11:	Ciclo biológico de la mosca de la fruta.....	49
Figura 12:	Áreas infestada en el mundo por la especie de <b><i>Ceratitis capitata</i> Wiedemann</b> .....	50
Figura 13:	Huevos de <b><i>Ceratitis capitata</i> Wiedemann</b> .....	51
Figura 14:	Larva de <b><i>Ceratitis capitata</i> Wiedemann</b> .....	52
Figura 15:	Larva de tercer estadio de <b><i>Ceratitis capitata</i> Wiedemann</b> ...	52
Figura 16:	Pupas de <b><i>Ceratitis capitata</i> Wiedemann</b> .....	53
Figura 17:	Adulto de <b><i>Ceratitis capitata</i> Wiedemann</b> .....	54
Figura 18:	Moscas del mediterráneo alimentándose.....	54
Figura 19:	Moscas del mediterráneo ovipositando en fruto de café.....	56

Figura 20:	Daños producidos en frutos por larvas de mosca del mediterráneo.....	57
Figura 21:	Trampas usadas por el PNMF para el control de moscas de la fruta.....	58
Diagrama de Flujo N° 1:	Metodología de investigación.....	66
Diagrama de Flujo N° 2:	Proceso de desarrollo de la prueba de bioensayo y prueba confirmatoria.....	71
Figura 22:	Determinación de pH entre la media y dosis de irradiación en mangos Haden.....	81
Figura 23:	Promedio de dosis de irradiación de los mangos Haden con acidez titulable.....	83
Figura 24:	Promedio de dosis de irradiación de los mangos Haden comparando con sólidos solubles.....	85

## INTRODUCCIÓN

Las moscas de la fruta son organismos muy dinámicos con un poder de adaptación extraordinaria, que han encontrado en los predios frutícolas condiciones óptimas para su desarrollo y multiplicación.

La infestación de frutas tropicales por las moscas de la fruta causa grandes pérdidas económicas, debido a las restricciones fitosanitarias que son implantadas para la exportación de frutas frescas y a la inducción de una mayor resistencia a los insecticidas absorbidos por los insectos y a la gran toxicidad y contaminación ambiental producida por éstos.

En el Perú las pérdidas económicas debido a la mosca de la fruta ascienden a los 100 millones de dólares por año, lo que conlleva al detrimento de la economía del fruticultor, debido a esto, el gobierno a través del Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) ha iniciado acciones de control a través del Sistema Nacional de Detección de Moscas de la Fruta (SINADE), además cuenta con el Centro de Producción de Moscas de la Fruta Estériles en donde se producen semanalmente 160 millones de moscas estériles de ***Ceratitis capitata* Wiedemann** para luego ser liberadas en los campos infestados por esta plaga (control autocida).

Tratamientos de cuarentena son aplicados para la exportación de frutas frescas que mayormente involucran fumigantes químicos como dibromuro de etileno y bromuro de metilo que presenta problemas ambientales, intoxicación al aplicador, presencia de residuos en el alimento tratado y resistencia del insecto en el producto, así como, el tratamiento hidrotérmico con alta temperatura (45 °C por 10 minutos) que tiene el inconveniente de dañar los productos, eliminando la cera de protección de la cáscara y a los componentes termosensibles de los productos (Vitamina C); y el uso de temperaturas frías (0–3 °C) que requieren más de doce días funcionan

esencialmente matando el 100% de todos los estadios de las moscas de la fruta que puedan estar presentes en el producto.

El tratamiento de cuarentena aprobado para la exportación de mangos peruanos a los EE.UU. es el tratamiento hidrotérmico que se efectúa en presencia de un inspector del APHIS.

Se hace necesario buscar tratamientos de cuarentena alternativos para frutas frescas y un método alternativo de control es la radiación ionizante, que posee grandes ventajas como no dejar residuos tóxicos y ser un método extremadamente eficiente y de bajo costo ya que el tratamiento se realiza en su empaque final.

La tecnología de irradiación de alimentos tiene por objetivo formular y priorizar métodos de procesamiento para prolongar la vida útil de los alimentos manteniendo sus características nutricionales y organolépticas minimizando el problema de pérdidas de géneros alimenticios. La irradiación reduce significativamente las pérdidas causadas por pudrición inducida por el crecimiento de hongos y bacterias.

Por tal motivo, viendo la disponibilidad de materia prima y conociendo los fines de la irradiación y efectos, se plantearon los siguientes objetivos:

**Objetivo General:**

1. Validar el uso de la irradiación como tratamiento cuarentenario, para la exportación de frutas frescas.

**Objetivo Específico:**

1. Determinar la dosis mínima efectiva para larvas del tercer estadio de ***Ceratitis capitata wiedemann*** que asegure la no emergencia de adultos en mangos.
2. Evaluar los efectos de la dosis óptima de irradiación sobre la calidad de la fruta mediante análisis sensorial y químico.

## II. GENERALIDADES

### 2.1 LA IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS.

Hay cuatro fuentes de radiación ionizante utilizadas en alimentos: La irradiación gamma con los isótopos de Cobalto-60 o Cesio-137, el haz electrónico (las partículas  $\beta$ ), o la radiación radiográfica (bremsstrahlung) producida cuando un haz electrónico golpea un convertidor que puede ser cualquiera de un número de materiales de alta densidad. La eficiencia de este proceso es baja; sólo casi el 5% de la energía de las partículas beta es convertido a bremsstrahlung.

La radiación bremsstrahlung es muy similar a los rayos gamma de isótopos; ambas pueden penetrar pallets cargados de productos. Una diferencia principal es que la radiación del bremsstrahlung es concentrada en la misma dirección como el haz electrónico mientras que los rayos gamma de isótopos son isotrópicos (emitidos en todas las direcciones uniformemente). La radiación del haz electrónico sólo penetra algunos centímetros y además es un tratamiento limitado a productos pequeños tales como cajas pequeñas de bayas, atravesando la fuente de irradiación sobre una faja transportadora.

Dos estrategias logísticas diferentes han sido desarrolladas para irradiación gamma comercial:

- Una cámara es cargada con los materiales para ser irradiada y la fuente radiactiva es elevada dentro de la cámara por la cantidad apropiada de tiempo para proporcionar la dosis requerida.
- Un sistema de fajas que transporta los materiales a ser irradiados atraviesa la fuente expuesta a una velocidad que



dará la dosis absorbida requerida

### **2.1.1 TIPOS DE RADIATIVIDAD.**

La radiación es producida por la desintegración espontánea de los núcleos atómicos inestables que tienden por este medio a tornarse estables. Mediante esta transformación estos núcleos se deshacen y expulsan una o más partículas.

Estas partículas emitidas se conocen como “radiaciones” y pueden ser de diversos tipos:

#### **a) Radiactividad alfa ( $\alpha$ ).**

Las partículas alfa fueron descubiertas en la radiactividad como las menos penetrantes. En 1909, Rutherford muestra que las partículas alfa son núcleos de helio, que son emitidas principalmente por núcleos pesados inestables, éstas son emitidas por repulsión coulombiana, la que aumenta con el número atómico  $Z$  (la fuerza proporcional a  $Z^2$ ) de los núcleos, mucho más rápido que la fuerza nuclear, que es proporcional “ $A$ ” (Montoya, 1997).

#### **b) Radiactividad Beta ( $\beta$ ).**

Las primeras observaciones sobre la radiación fueron en torno a la emisión de electrones negativos. Frederic e Irene Joliot-Curie, en 1934, detectaron la emisión de electrones positivos (positrón) como proceso de decaimiento radiactivo. Luego se descubrió que en los rayos cósmicos también venían positrones.

El caso más simple de decaimiento  $\beta$  es la conversión de un protón en un neutrón o de un neutrón en un protón. Con la emisión  $\beta$ , el número atómico cambia de una unidad, pero el número másico permanece el mismo. El decaimiento  $\beta$  es pues una forma que tiene el núcleo de buscar su estabilidad sin cambiar de masa (Montoya, 1997).

La emisión de electrones  $e^-$  y positrones  $e^+$  es llamada radiactividad  $\beta$ . Los procesos involucrados son los siguientes:

$n \rightarrow p + e^-$  decaimiento  $\beta^-$

$p \rightarrow n + e^+$  decaimiento  $\beta^+$

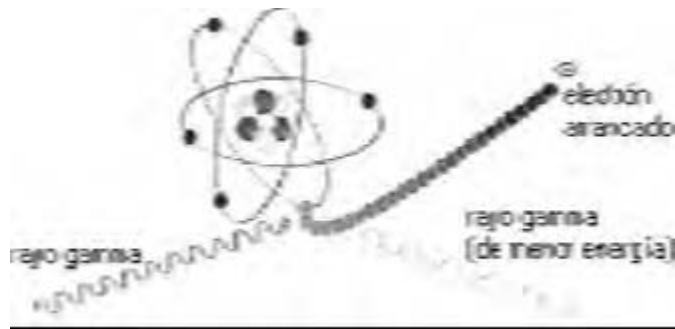
### c) Radiactividad gamma ( $\gamma$ ).

La radiactividad gamma es similar a la emisión de radiación atómica como la óptica o los rayos X. La energía de los rayos gamma es la diferencia entre la energía del estado inicial y la del estado final del núcleo emisor. Este tipo de radiactividad se da en todos los núcleos que tienen un estado excitado y generalmente sigue a la emisión alfa y beta.

En las reacciones nucleares, los núcleos quedan en los estados excitados, los que decaen emitiendo uno o más rayos gamma. Los rayos gamma son fotones, de la misma naturaleza de los rayos X o la luz visible. En la mayoría de los casos, la energía de los rayos gamma está entre 0,1 y 10 MeV y sus longitudes de onda están entre  $10^4$  y 100 fm.

Los rayos gamma presentan ventajas, entre las que se tienen su baja atenuación en el aire y la alta resolución que resulta en la medición de su energía.

Todas las radiaciones son invisibles y se mueven a velocidades muy altas; cuando atraviesan la materia (aire, agua, cuerpos sólidos o seres vivos) arrancan electrones a los átomos que se encuentran a su paso, es decir, ionizan a los átomos; por eso a este fenómeno también se le suele llamar radiación ionizante (Montoya, 1997).



**Figura 1. Incidencia de un Fotón en un Átomo**

FUENTE: <http://www.nutrinformo.com.ar/pagina/info/irrad0.html> (2003)

### 2.1.2 IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS.

En la irradiación de los alimentos, que de acuerdo con la OIEA es un método físico comparable con los tratamientos con calor o con frío.

La irradiación de alimentos es llamada un “proceso en frío” porque no incrementa en forma significativa la temperatura de los alimentos que están siendo procesados, éstos pueden ser embarcados, almacenados o consumidos inmediatamente después del tratamiento.

La irradiación trabaja desorganizando los procesos orgánicos que tienen que ver con el deterioro. Cuando interactúan con el agua u otras moléculas propias de los alimentos, los rayos gamma, X, o electrones son absorbidos por las moléculas con las que contactan. Durante el proceso, las células microbianas, tales como bacterias, hongos y levaduras son destruidos y los huevos de insectos y parásitos son eliminados y/o esterilizados.

Las fuentes de energía comúnmente usadas en irradiación vienen de isótopos emisores gamma (radionúclidos) de Cobalto-60 o Cesio-137; o de máquinas generadoras las que incluyen rayos X operados en o bajo un nivel de energía de 5 MeV, o haces de electrones operados en o bajo un nivel de energía de 10 MeV. Cualquiera de estas fuentes puede ser efectivamente usada para controlar plagas contaminantes, además de eliminar el riesgo de propagación de especies foráneas que amenazan la agricultura y otros ecosistemas.

El poder de penetración es la principal diferencia entre las radiaciones gamma y los electrones. En el caso de las radiaciones gamma, esta penetración es de varias decenas de centímetros, que permite que la radiación sea más efectiva en los alimentos envasados o en recipientes, mientras que la irradiación con electrones acelerados tiene utilidad práctica en materiales de poco espesor o bien en tratamientos superficiales (IPEN, 1999).

En la actualidad, los irradiadores que usan un acelerador de electrones como fuente de radiación, representan el 20% de las cerca de 150 unidades de irradiación instaladas en el mundo, mientras que las fuentes de rayos X sólo constituyen en 1,5%.

#### **a) Dosis de irradiación.**

Es la cantidad de energía de irradiación que absorbe una materia por una determinada unidad de masa, cuando es expuesta a fuentes radiactivas, la cual se denomina dosis absorbida o simplemente dosis. La Comisión Internacional de Unidades de Medidas de Radiación define a la dosis como, la energía promedio impartida por la radiación ionizante a un elemento de volumen (Muñoz y col. 1985; WHO, 1988).

#### **b) Unidades de medida.**

La Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones en 1944, definió el Rad como la unidad de dosis absorbida. La cual equivale a la absorción de 100 Ergios de energía radiante por gramo de material irradiado. En 1975 durante la XV Conferencia Internacional de Pesas y Medidas se introdujo una nueva unidad llamada Gray (Gy), la cual se define como la absorción de un Joule de energía radiante por kilogramo de materia irradiada. El Sistema Internacional de Unidades (SI) adoptó esta unidad de dosis en 1986 (Muñoz y col. 1985; WHO, 1988).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/Kg}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

Se denomina tasa de dosis absorbida a la energía absorbida por unidad de masa en la unidad de tiempo.

**c) Dosimetría.**

La dosimetría estudia la determinación de la energía absorbida en un medio expuesto a la radiación ionizante. Por consiguiente cualquier sistema que permita una medida cuantificable y reproducible de los efectos inducidos por las radiaciones, puede en principio ser usada para dosimetría.

En la irradiación de alimentos se usan dos métodos estándares de dosimetría los cuales son:

- Colorimetría (método físico).
- Dosímetro de Fricke (método químico).

Para la dosimetría de las irradiaciones se puede usar otros tipos de dosímetros, como son: Etanol clorobenceno, termo luminiscente y el de película (IPEN, 1988).

**d) Mapeo de dosis de absorción del producto.**

La radiación a medida que pasa por la materia deposita su energía y se atenúa, esto significa que en la irradiación de alimentos no podemos esperar que la cantidad de energía absorbida sea igual en todas las posiciones, por tanto existirá una distribución de dosis en un determinado producto que variará desde un valor máximo a un mínimo. La irradiación de un producto requerirá primero de un mapeo de dosis de absorción. El mapeo determina la distribución de la dosis sobre el volumen del producto y la ubicación de la dosis máxima y mínima. La medición de esta dosis es la base para calcular el tiempo de irradiación del producto (Nordion international INC. 1996).

La distribución de dosis no es de mucha importancia, pero sí lo son los valores mínimos y máximos, ya que en ésta aplicación tan delicada para el consumo humano, se deberá garantizar que todo

el producto tratado, haya recibido una dosis mayor que la mínima legal y al mismo tiempo de que todo el producto, no haya recibido una sobredosis.

### 2.1.3 INSTALACIONES PARA IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS.

Debe considerarse que el rendimiento de energía de una fuente de radionucleídos no puede cambiarse y la relación espacial entre la fuente y el blanco es fija, la única variable generalmente usada para controlar la dosis es el tiempo de exposición, que puede ajustarse regulando la velocidad del mecanismo de transporte.

De acuerdo al tipo de fuente de radiación que utilizan los irradiadores pueden dividirse en dos grupos: irradiadores de isótopos radiactivos y máquinas generadoras de electrones. Difieren en el método de operación, pero los tipos de fuentes producen efectos idénticos en los alimentos, microorganismos e insectos (WHO, 1988).

Los irradiadores de Cobalto-60 pertenecen al grupo de los irradiadores de isótopos radiactivos porque emplean el Co-60 como fuente de radiación. Los irradiadores de este tipo constan de cuatro partes esenciales:

- 1) La fuente de irradiación;
- 2) Un recinto para el almacenaje de la fuente radiactiva;
- 3) Una cámara de irradiación o celda caliente, en el cual ocurre el proceso de irradiación de las muestras o materiales;
- 4) El equipo electromagnético para colocar el material que se va irradiar en la posición de irradiación.

La fuente de irradiación es la parte más importante del irradiador y existen diferentes diseños para las fuentes radiactivas de Co-60, como las fabricadas por la Nordion International Inc. (1996) las que se clasifican en los siguientes tipos:

- **Tipo I:** Es un equipo autoblandado cuya fuente de radiación está almacenada en seco. En este tipo de irradiador la fuente radiactiva

es fija, existiendo mecanismos mediante los cuales los materiales a irradiar son expuestos a dichas fuentes.

- **Tipo II:** Son equipos panorámicos cuya fuente está almacenada en seco. En este tipo de irradiador la fuente radiactiva tiene la capacidad de movilizarse desde su blindaje hacia la cámara de irradiación en donde se colocan los materiales a irradiar. El SENASA cuenta con este tipo de irradiador, el que se usó para la presente investigación.
- **Tipo III:** Es un irradiador autocontenido con almacenamiento de la fuente en agua. En este caso las fuentes están almacenadas y fijas en el fondo de una piscina con suficiente agua para brindar blindaje necesario. Cuando algún material desea ser irradiado, éste es desplazado hacia la fuente.
- **Tipo IV:** Es un irradiador panorámico cuya fuente es almacenada en agua. En este tipo de equipos la fuente se desplaza para irradiar el material. Son irradiadores industriales que utilizan Co-60 como fuente radiactiva. El Instituto Peruano de Energía Nuclear cuenta con este tipo.

Las plantas de irradiación de alimentos varían en diseño y estructura física según el uso destinado, pero esencialmente hay de dos tipos: Por lotes y continuo, la facilidad del lote, es de una cantidad determinada de alimento se irradia para un periodo preciso de tiempo. La celda en que se irradia se descarga entonces y otro lote se carga y es irradiado, estas instalaciones tienen un diseño simple y son más fáciles de operar, además de ser flexibles. Una amplia gama de dosis puede ser empleada y ellos se adaptan bien a la experimentación.

En las instalaciones continuas de irradiación, el alimento se pasa hacia la celda a un valor controlado de tasa calculada para asegurar que todo el alimento recibe exactamente la dosis destinada, éstas tienen una mejor capacidad para acomodar volúmenes grandes de productos. Las operaciones continuas se prefieren comúnmente en la

industria alimentaria, parcialmente porque ofrecen una economía importante de escala (WHO, 1988).

Los irradiadores de Ce-137 pertenecen también al grupo de irradiadores de isótopos radiactivos y constan de las mismas partes de un irradiador de Co-60, pero la energía del Ce-137 es mucho menor.

Entre las máquinas generadoras de electrones tenemos a los llamados aceleradores de electrones. Los electrones son partículas subatómicas que tienen muy pequeña masa y carga eléctrica negativa, éstos pueden ser usados en la irradiación de los alimentos a costos relativamente bajos, constan de una fuente en la cual se producen los electrones y una serie de cilindros metálicos huecos, o tubos de conducción, con longitudes que van creciendo en forma gradual. Otro tipo de esta máquina, es el generador de rayos X. Los rayos X son formas de onda de energía similar a la luz y tienen alto poder de penetrabilidad en algunos materiales. En la actualidad los casos de empleo de estas máquinas para la irradiación de alimentos son pocos debido a que hay mucha demanda de estos generadores para uso como el diagnóstico médico, la radioterapia y la radiografía industrial (WHO, 1988).

#### **2.1.4 APLICACIONES DE LA IRRADIACIÓN EN FRUTAS Y HORTALIZAS.**

Algunas aplicaciones típicas de la irradiación de los alimentos son reconocidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Mundial para la Agricultura y Alimentación.

##### **a) Inhibición germinativa.**

La inhibición germinativa en tubérculos y bulbos se logra mantener por mucho más tiempo y en condiciones óptimas para su consumo. Por ejemplo papas, olluco, zanahorias, betarragas, jengibre, entre otros. Mediante este proceso se logra inhibir



totalmente el brote, como el caso de papas que puede mantenerse hasta 8 meses sin pérdida de peso ni alteración alguna de su poder nutritivo.

La inhibición germinativa en el jengibre, papas, cebolla y ajo, se realiza a una dosis de 0,05 a 0,15 kGy. La dosis mínima va a depender de las propiedades del producto y a dosis mayores pueden presentarse algunas desventajas como ennegrecimiento de las papas.

La irradiación industrial de ajos y cebollas durante el almacenaje se está empleando en Alemania, Hungría. En otros países como Argentina, Bangladesh, Chile, Israel, Filipinas, Tailandia y Uruguay, la irradiación de papas, cebollas y ajos se lleva a cabo en cantidades a escala piloto.

#### **b) Desinfestación.**

Según la FAO (Foods American Organization), en América Latina la estimación de pérdidas de cosechas a nivel de campo por causas bióticas es del orden del 30% y del 10% en la post-cosecha, lo que hace una escalofriante cifra total del 40%.

En 1983, la Agencia de Protección Ambiental Americana, reconoció que el EDB provocaba cáncer, esterilidad y defectos congénitos. Se propuso entonces como alternativa a la fumigación, la irradiación con rayos gamma.

La desinfestación por irradiación se aplica para matar o esterilizar huevos y larvas de insectos en frutas frescas y vegetales, así como para disminuir los efectos nocivos que algunos insectos causan en cereales, legumbres y especias. Para lo cual se va a requerir una dosis comprendida entre 0,2 a 0,7 kGy, debiendo emplearse las dosis más elevadas dentro de ese margen para destruir insectos.

**c) Prolongación del tiempo de vida útil.**

Uno de los principales usos de la irradiación de alimentos es para eliminar los microorganismos causantes de la contaminación o el deterioro de los productos. Los niveles de radiación aplicados dependen de los microorganismos que se desea eliminar y de la tolerancia de los productos a la irradiación.

El tiempo de conservación de numerosas frutas y hortalizas, carne, aves, pescados y mariscos puede lograrse notablemente hasta el doble del tiempo normal, tratándolos con una combinación de refrigeración y dosis relativamente bajas de irradiación que no alteran el sabor ni la textura.

La irradiación va a permitir la destrucción de los microorganismos que estropeen o deterioren los alimentos. La mayoría de microorganismos que deterioran los alimentos se eliminan a dosis menores de 5 kGy. Una combinación de tratamiento leve de calor (inmersión en agua caliente), irradiación a bajas dosis, y el empaque apropiado puede exitosamente aplicarse a frutas que son sensibles a dosis altas de irradiación.

**d) Retardo de la maduración y envejecimiento de frutas y verduras.**

La exposición a una dosis baja de irradiación retarda la maduración y/o senescencia de algunas frutas y vegetales, logrando extender su vida de almacenamiento. Este efecto del tratamiento fue descubierto en el curso de estudios del rol de la irradiación en el control de microorganismos. La magnitud de tales cambios depende de la dosis y el estado de madurez al tiempo del tratamiento. Una medible extensión de la vida de almacenamiento puede ser obtenida con dosis hasta de 0,3 a 1,0 kGy. Este nivel de exposición incrementa la vida de almacenamiento en mangos por sobre una semana y en plátanos por dos semanas. Dosis de hasta 2 kGy retarda la maduración de papayas. La irradiación debe ser aplicada en el estado verde

maduro para que se retarde el comienzo de la maduración natural.

Esta aplicación se viene llevando a cabo a escala industrial en Hawaii, donde se irradia papayas para su comercialización en USA y en Francia donde se irradia fresas que se encuentran comúnmente en los supermercados de ese país.

**e) Control de enfermedades transmitidas por alimentos.**

Una aplicación potencialmente importante de la irradiación de alimentos es para la descontaminación y el control de enfermedades transmitidas por alimentos. La irradiación podría jugar un papel importante en el procesamiento de alimento sólidos de origen animal y alimento secos como los tratados con calor (pasteurización) y el procesamiento de leche y jugos de fruta.

Alimentos secos como condimentos, verduras secas, hierbas, almidón, proteína concentrada, y las preparaciones comerciales de enzimas usadas en la industria alimentaria, pueden ser descontaminados con dosis de radiación de 3 a 10 kGy sin efectos adversos sobre su sabor, textura o propiedades. Los microorganismos que sobreviven a este tratamiento son más susceptibles a los tratamientos subsiguientes.

Grandes cantidades de ingredientes secos para alimentos están siendo irradiados en Bélgica y Holanda. Especies están siendo irradiadas en Argentina, Brasil, Dinamarca, Finlandia, Francia, Hungría, Israel, Noruega, Estados Unidos y Yugoslavia.

**f) Otras aplicaciones.**

En algunos países los materiales de empaque usados para leche de larga duración, productos lácteos y jugos de fruta, están siendo esterilizados por dosis de rayos gamma entre 15 a 25 kGy.

La aplicación de la irradiación en la esterilización de comidas preparadas para pacientes hospitalizados con sistemas inmunodeficientes ha sido aprobada en Alemania, Holanda y el

Reino Unido. La variedad, palatabilidad y calidad nutricional de las comidas para estos pacientes puede ser aparentemente conservada si la esterilización por radiación es usada en lugar de la esterilización térmica.

Es también razonable que esta aplicación puede ser extendida a otros grupos de personas, como los tripulantes de viajes espaciales y los que practican deportes de aventura.

La irradiación de alimentos puede producir diferentes efectos dependiendo de los alimentos utilizado y de la cantidad de energía ionizante absorbida por dicho alimentos. En el cuadro 1 se resume las posibles aplicaciones de la irradiación de alimentos.

**Cuadro 1. Niveles de tratamientos y efectos de la irradiación.**

TIPO DE ALIMENTO	DOSIS kGy	EFFECTOS
Carne: aves, pescados, marinos Algunos vegetales, productos horneados. Alimentos preparados.	20 - 70	Esterilización. Productos tratados pueden ser almacenados a temperatura ambiente.
Especias y condimentos	8 - 30	Reducción del número de microorganismos y eliminación de insectos.
Carne, aves y productos avícolas, pescado.	1 - 10	Retraso del deterioro. Eliminación de bacterias patógenas (Salmonella).
Fresas y otras frutas	1 - 4	Extensión de la vida útil
Granos, frutas, vegetales.	0.1 - 1	Elimina insectos Reemplaza a los fumigantes.
Plátanos, mangos, papayas, palta y otras frutas.	0.25 - 0.35	Retraso de la maduración.
Cerdo	0.08 - 0.15	Inactivación de triquina y cisticerco.
Papas, cebollas y ajos	0.05 - 0.15	Inhibición de brote.

Fuente: WHO "FOOD IRRADIATION" 1988.

## 2.1.5 NIVELES DE DOSIS EMPLEADOS EN LA IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS.

La Organización Mundial de la Salud clasifica al tratamiento con irradiación según las dosis:

**I. Dosis bajas.** Dosis menores a 1 kGy.

- Inhibe la germinación de las papas, cebollas, etc. y permite el almacenamiento a largo plazo sin el uso de inhibidores químicos.
- Causa la muerte o esterilización sexual de insectos por lo que previene las pérdidas causadas por insectos en el almacenamiento de cereales, harinas, frutos secos, nueces, legumbres, sin el uso de fumigantes químicos. También esteriliza los huevos y las larvas de los insectos impidiendo la propagación de plagas de insectos.
- Destruye a parásitos en la comida, como el protozoario que causa la disentería amibiana (*Entamoeba histolytica*), el protozoario que causa la toxoplasmosis (*Toxoplasma gondii*), el parásito que causa la triquinosis (*Trichinella spiralis*), etc.
- Retrasa el proceso de maduración en los frutos.

**II. Dosis medias.** Dosis de 1 a 10 kGy.

- Reduce las poblaciones de bacterias (Salmonellas, lactobacillus, etc.), mohos y levaduras presentes tanto en la superficie como en el interior del alimento, mejorando de esta manera las posibilidades de almacenamiento.
- Evita la producción de sustancias tóxicas de organismos patógenos como salmonella.

**III. Dosis altas.** Dosis de 10 a 45 kGy.

- Destruye o reduce las poblaciones de organismos patógenos, por ejemplo, bacterias (Gram negativas como Salmonella, algunos estafilococos y lactobacilos, incluyendo esporulados como el *Clostridium botulinum*) y virus.
- Esteriliza alimentos envasados, precocidos, congelados, etc.

## **2.1.6 EFECTOS DEL PROCESAMIENTO DE IRRADIACIÓN EN EL ALIMENTO.**

#### a) Efectos químicos.

La energía radiante emitida produce ionizaciones, rupturas y pérdida de la "estabilidad" de los átomos y/o moléculas del alimento con el que interaccionan. Suele denominarse a este proceso, **"efecto primario"**. Como consecuencia del efecto primario, desestabilizan y aparecen iones y radicales libres que se combinan entre sí o con otras moléculas para formar sustancias ajenas a la composición inicial del producto. Ésto se denomina **"efecto secundario"**, que se prolonga en el alimento, con formación y desaparición de compuestos hasta lograr la formación de compuestos químicamente estables.

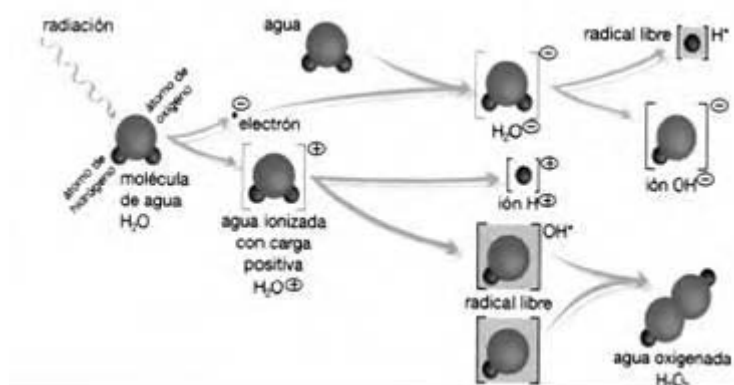
Estos fenómenos, efectos primario y secundario se denominan, radiólisis, y los nuevos compuestos originados son denominados productos radiolíticos, los cuáles se producen en cantidades muy pequeñas. Los compuestos radiolíticos no presentan riesgos para la salud, y se ha comprobado que los mismos compuestos se forman al realizarse la cocción de los alimentos u otros procesos de conservación.

Los investigadores estiman que una dosis del orden de 1 kGy podría romper 10 enlaces químicos por cada  $10^6$  enlaces químicos presentes. Cifras semejantes se producen por otros procesos como el cocinado, iluminación con luz infrarroja o ultravioleta. Sin embargo, una proporción tan baja puede ser de gran importancia cuando ocurre en moléculas como el ADN, ya que como consecuencia las células pierden su capacidad reproductora. Por otra parte, este efecto resulta de gran importancia para la destrucción de insectos, desactivar parásitos, retrasar procesos de maduración y para evitar procesos de rebrote.

Cabe mencionar que el efecto sobre las moléculas es tanto mayor cuanto mayor es su tamaño. Los ácidos nucleicos (material genético) son las moléculas más complejas de las células, por tanto la posibilidad de que sufran daños directos es muy elevada.

## b) Formación de radicales libres.

La radiación ionizante (gamma, beta, X) al incidir sobre un alimento provoca la absorción de energía y la formación de iones o radicales libres, los que reaccionan formando productos radiolíticos estables.



**Figura 2. Formación de radicales libres por efecto de la irradiación en una molécula de agua.**

FUENTE: <http://www.nutrinfo.com.ar/pagina/info/irrad0.html> (2003)

En 1981, la OMS, Comité de Expertos sobre Alimentos Irradiados de la FAO/OIEA/OMS aseguraron que: “estudios de radioquímica han demostrado que los productos radiolíticos de la mayor parte de los componentes de los alimentos son idénticos, independientemente del alimento del cual derivan”. No obstante, para los componentes mayoritarios de los alimentos, la mayoría de estos productos radiolíticos han sido también identificados en alimentos sujetos a otros tipos de procesamiento de alimentos. El conocimiento y concentración de estos productos radiolíticos indican que no existe evidencia para un efecto toxicológico”.

Por otra parte, las moléculas de agua cuando son irradiadas dan lugar a radicales libres, con un marcado carácter oxidante ó reductor y elevada capacidad de reacción. La repercusión de estos radicales es tan importante que se considera que el efecto secundario es tanto más intenso cuanto mayor es el contenido acuoso.

### **c) Propiedades organolépticas**

Utilizando la dosis adecuada de radiación, pueden mantenerse estas propiedades en gran medida; sin embargo, al aplicar dosis elevadas de radiación, se producen en el alimento, modificaciones del sabor, color y textura que pueden hacer al alimento inaceptable para el consumo. En general las alteraciones organolépticas producidas por irradiación se presentan a dosis menores que las necesarias para producir alteraciones nutricionales. Estas alteraciones, pueden minimizarse irradiando el alimento envasado al vacío o en atmósferas modificadas, en estado congelado o en presencia de antioxidantes.

Una de las alteraciones organolépticas más características es la aparición de un olor y/o sabor típico a radiación. Esto es debido principalmente al efecto de los radicales libres sobre los lípidos y las proteínas. Este aroma es más pronunciado inmediatamente después de la irradiación y decrece e incluso desaparece durante el almacenamiento o después de cocinar el producto. El color del producto también puede verse afectado (oscurecimiento en las carnes). En frutas y hortalizas se produce un considerable ablandamiento, esta modificación no se presenta de inmediato, sino al cabo de varias horas e incluso días después de recibir la irradiación.

### **d) Aspectos nutricionales**

El proceso de irradiación aumenta pocos grados la temperatura del alimento, por esto, las pérdidas de nutrientes son muy pequeñas y en la mayoría de los casos, son menores a las que se producen por otros métodos de conservación como ser el enlatado, desecado, y pasteurización ó esterilización por calor (Narvaiz Patricia 2003).

Los nutrientes más sensibles a la irradiación, se corresponden con los también más sensibles a los tratamientos térmicos, el ácido ascórbico, la vitamina B<sub>1</sub> y la E. Estas pérdidas, al igual que la de



ácidos grasos esenciales, pueden minimizarse si se trabaja en un ambiente libre de oxígeno o si se irradia en estado congelado. Con respecto a los macronutrientes, no se producen alteraciones significativas.

Sin embargo, en <http://www.nutrinfo.com.ar/pagina/info/irrad1.html> Gálvez Magdalena admite que en frutas y verduras no se puede asegurar que no disminuya el valor nutricional, pero a cambio están más sanas: "la irradiación puede alterar un poco a la cualidad nutritiva del alimento, pero no más de lo que le altera la cocción a una verdura. La pérdida de valores nutritivos es análoga a cualquier otro proceso de esterilización, incluso respecto a algunas vitaminas les hace perder menos cantidad que otros tratamientos, como la esterilización o la congelación".

#### **Cuadro 2. Ventajas e inconvenientes de la irradiación.**

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
Evita el uso de tratamiento químicos	Pérdida de vitaminas A, B <sub>1</sub> , E.
Puede aplicarse a los alimentos congelados, enlatados, precocinados, etc.	No puede ser utilizado para todos los productos.
Es específico y único para desactivar cierto tipo de microorganismos patógenos.	No destruye toxinas de origen bacteriológico y no desactiva enzimas
Aumenta los aspectos sanitarios y reduce potencialmente epidemias	Puede producir cambios organolépticos.

Fuente: <http://www.nutrinfo.com.ar/pagina/info/irrad1.html> (2004)

### **2.1.7 EFECTOS SOBRE LOS MACRONUTRIENTES DE FRUTAS Y HORTALIZAS.**

#### **a) Proteínas y aminoácidos.**

La amplia evidencia acumulada durante las pasadas dos décadas indicadas que muy pocas excepciones, los alimentos irradiados son tan nutritivos como los alimentos procesados térmicamente.

Metta y Johnson (1999) demostraron el efecto comparativo del tratamiento de radiaciones y térmicos en el valor nutritivo de las proteínas de frijoles y arvejas y los resultados se muestran en la tabla.

**Cuadro 3. Efecto del tratamiento con calor y con radiaciones en el valor nutritivo de frijoles y arvejas.**

<b>Muestra</b>	<b>Cruda</b>	<b>Procesada con calor (100 °C/10min)</b>	<b>Procesada con radiación (100 kGy)</b>
<b>Proteínas de arvejas</b>			
Digestibilidad aparente (%)	84	84	83
Digestibilidad verdadera (%)	92	91	91
Valor biológico (%)	58	58	51
<b>Proteínas en frijoles</b>			
Digestibilidad aparente (%)	61	68	61
Digestibilidad verdadera (%)	68	77	70
Valor biológico (%)	48	64	47

Fuente: Metta y Johnson (1999)

Los valores del cuadro 3 indican que dosis de radiación de hasta 100 kGy (10 Mrad) afectan muy ligeramente la digestibilidad y el valor biológico de las proteínas en el caso de frijoles y arvejas, ésta pérdida se debe probablemente a la destrucción de los aminoácidos sulfurados que son los más susceptibles a la radiación.

Otros reportes acerca de los efectos de las radiaciones ionizantes sobre la calidad de la proteína en frutas, indican que cuando se irradiaron mangos y papayas con propósitos de desinfestación, no se notaron efectos en el valor nutritivo de su proteína.

En resumen, las dosis empleadas en la irradiación de alimentos no inducen cambios significativos en la composición de aminoácidos y proteínas de los alimentos.

## **b) Carbohidratos.**

Los efectos principales de la radiación sobre los carbohidratos son hidrólisis y degradación oxidativa. Los polisacáridos se depolimerizan y la celulosa se hace más susceptible a la hidrólisis enzimática. Las sustancias pécticas pierden sus poderes gelificantes. Es decir, los carbohidratos complejos se convierten en compuestos más simples luego de la irradiación.

Aunque la irradiación puede causar cambios en las propiedades físicas y químicas de los carbohidratos contenidos en alimentos como en granos y vegetales, se ha demostrado que tales cambios nutricionales no son de significación por ejemplo. Read y col. determinaron en estudios de alimentación usando ratas, que la disponibilidad de carbohidratos para los animales no fue afectada al irradiar las dietas conteniendo carbohidratos con una dosis tan alta como 55,8 kGy.

De estas experiencias se pueden concluir que no existen efectos negativos sobre la cantidad de energías metabolizable de los alimentos ricos en carbohidratos sometidos al proceso de la irradiación.

En los sistemas acuosos, los carbohidratos reaccionan principalmente con los radicales hidroxilos para formar cetona, aldehídos o ácidos como productos finales; otra posible reacción es la desoxigenación. En presencia de oxígeno, la formación de productos desoxi disminuye, mientras que los azúcares ácidos y cetonas aumenta. La formación de ácidos reduce considerablemente el pH.

El almidón irradiado se descompone en dextrinas, maltosa, glucosa, y se produce una disminución de la viscosidad de los polisacáridos en solución. En términos generales, la cantidad de agua presente influye considerablemente en la naturaleza y cantidad de los productos formados. Los carbohidratos que forman parte de los alimentos son mucho menos susceptibles de degradación que los irradiados en estado puro.

#### **d) Vitaminas.**

El grado de destrucción de las vitaminas depende de la composición y del porcentaje de agua del alimento, del tiempo transcurrido entre la irradiación y el análisis, de las condiciones de almacenaje previas y posteriores a la irradiación, de la dosis de radiación, de la tasa de dosis, de la naturaleza y concentración de la vitamina, del tipo de atmósfera, de la temperatura y otras variables.

Los estudios sobre los efectos de la irradiación sobre las vitaminas han llegado a distintas conclusiones según el objeto investigado: soluciones puras o matrices reales de alimentos. Las pérdidas que se producen en las soluciones puras son por lo general mucho mayores.

La vitamina C ó ácido ascórbico, otra vitamina soluble en el agua, es también, sensible a la radiación y forma ácido deshidroascórbico. La riboflavina, niacina y vitamina D son resistentes a la irradiación, pero otras vitaminas como la A, B1, E y K son más sensibles y se destruyen fácilmente. La importancia de la pérdida vitamínica sufrida por un determinado alimento depende de la contribución de dicho alimento a la dieta total.

Con relación a las verduras, las zanahorias irradiadas con 0.08 kGy para prevenir el rebrote, pierden el 30% de vitamina A, sin embargo, las pérdidas se reducen notablemente cuando el producto está seco.

La pérdida de vitamina A en los productos enlatados depende de las condiciones de enlatado, del tipo de producto, de condiciones adicionales (presencia/ausencia de aire, temperatura de almacenamiento, etc.)

En dosis bajas (1 kGy) de radiación no se han observado cambios significativos en el contenido de vitamina C en naranjas, plátanos, mangos y papayas (<http://www.nutrinform.com.ar/pagina/info/irrad0.html> 2003).

**Cuadro 4. Efecto de la radiación gamma sobre la vitamina A en frutas y verduras.**

Producto	Forma de pro vitamina A	Dosis de radiación (kGy)	% de pérdida de pro vitamina A
Mango fresco	Beta caroteno	0.75	0
	Carotenoides totales	0.25	25
	Carotenoides totales	0.75	20 – 40 c
Zanahoria fresca	Beta caroteno	0.08	30
Zanahoria seca En polvo	Beta caroteno	1 y 10	9 – 14
Zanahorias enlatadas	Carotenoides totales	18.6	0 – 56 a
Habas verdes enlatadas	Carotenoides totales	18.6	5 – 95 a
Brócoli enlatado	Carotenoides totales	18.6	25 – 50 a
Maíz enlatado	Beta caroteno	10	46 – 80 b
Espinacas congeladas	Beta caroteno	0.5	0

a) *Dependiendo de las condiciones de enlatado.*

b) *Dependiendo de la atmósfera.*

c) *Dependiendo de la variedad.*

Fuente: <http://www.nutrinfo.com.ar/pagina/info/irrad0.html> (2003)

#### 2.1.8 EFECTOS DE LA IRRADIACIÓN EN INSECTOS.

La generación de efectos biológicos por irradiaciones a los insectos es directamente proporcional a la dosis de radiación aplicada.

La radiosensibilidad se ve exacerbada en el núcleo de la célula, puntualmente en la molécula de ADN y durante la mitosis; esto también depende de la temperatura, la humedad, la edad y el tipo de célula.

Las radiaciones no producen enfermedades especiales, sino un aumento en la ocurrencia de patologías que se presentan de manera "natural". Se vinculan con la edad, el ambiente, la alimentación y el tipo de animales o vegetales tratados.

La energía de la radiación produce en la célula, dos tipos de acciones:

- **Directa:** las moléculas se alteran por la absorción de la radiación, ionizándose o excitándose cuando pasa una partícula atómica o un electrón.

- **Indirecta:** la molécula no absorbe directamente energía, sino que la recibe transmitida de otra molécula.

Todos los cambios se producen en menos de microsegundos, pero un organismo tarda cierto tiempo (según sus características y la dosis absorbida) en evidenciarlos. Es decir, las lesiones bioquímicas aparecen más rápidamente que los daños anatómicos.

Después de la aplicación de radiaciones a dosis subletal, las células procuran recomponer sus partes lesionadas. La reparación puede ser por:

- Neutralización de los efectos primarios producidos en las moléculas, por acción directa o indirecta.
- Neutralización de los efectos secundarios, porque las células resintetizan las moléculas que la radiación ha lesionado.

Los efectos dañinos que se esperan de la radiación en los insectos pueden ser: letalidad, disminución de longevidad, esterilidad, reducción en la incubación de los huevos, retraso en el desarrollo biológico, disminución en el consumo de alimentos e inhibición de la respiración (Toledo, 1991).

La causa principal de las mutaciones letales dominantes en la mayoría de los insectos es la ruptura de los cromosomas por efecto de la radiación ionizante, así como la muerte celular inmediata y disturbios en la función hormonal. La radiosensibilidad es directamente proporcional a su capacidad para reproducirse (mitosis). Los insectos que se esterilizan fácilmente como los dípteros (moscas), tienen un solo centrómero en cada cromosoma y la pérdida de un pedazo de cromosoma durante la división celular causa un desbalance genético que es la mutación letal más común inducida por radiación (SENASA, 2003).

La relación entre el grado de desarrollo biológico y radiosensibilidad es muy importante, ya que no todos los estados biológicos de los insectos tienen una misma sensibilidad a la irradiación. La

radiosensibilidad es diferente de acuerdo a la edad de cada estado metamórfico. Por ejemplo un huevo de un día es más sensible que otro que tiene 7 días, lo mismo ocurre para el estado de larvas, pupas y adultos (SENASA, 2003).

#### **2.1.9 ASPECTOS TÉCNICOS Y LEGALES DE LA IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS.**

Los primeros intentos de legalizar el proceso de irradiación de alimentos a nivel nacional, y reportados a la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) se llevaron a cabo en los Estado Unidos en 1958. La primera autorización para irradiar alimentos se emitió en la unión soviética, el 14 de marzo de 1958, el permiso se concedió para irradiar papas con el objeto de inhibir la germinación durante el almacenamiento (Muñoz y col. 1985).

En 1969 tuvo lugar la primera Reunión del Comité de Expertos FAO/IAEA/WHO (Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas/ Agencia Internacional de Energía Atómica /Organización Mundial de la Salud) sobre la inocuidad de productos irradiados, la cual fue seguida en 1970, por el establecimiento del proyecto Internacional en el Campo de la Irradiación de Alimentos, eventos que constituyeron las bases sólidas para la armonización del proceso de irradiación de alimentos a nivel internacional. Las investigaciones realizadas sobre la inocuidad y comestibilidad de los alimentos irradiados, no lograron demostrar evidencia positiva de peligros toxicológicos o microbiológicos debido o asociados con el consumo de productos alimenticios irradiados.

Es así que en 1979 la Comisión del Codex Alimentarius adoptó el primer **Estándar General para Alimentos Irradiados** y además aceptó el “código de operación práctica de instalaciones de irradiación a ser usados en el procesamiento de alimentos”. En esta forma todos los países miembros del proyecto internacional sobre irradiación de alimentos contaron con bases sólidas para la regulación del proceso.

En 1982 y 1983 se celebraron reuniones del comité del Codex alimentarius sobre aditivos de alimentos y en ellos se efectuaron revisiones y enmiendas a los documentos entregados por el Comité Conjunto de Expertos FAO/IAEA/WHO. La elaboración de la Norma General del Codex alimentarius para alimentos Irradiados (Norma Universal), se concluyó en la reunión de la Comisión del Codex Alimentarius, celebrada en 1983.

En esta reunión la Norma General, además únicamente aceptada por la Comisión del Codex alimentarius, llegaron a la conclusión de que los alimento irradiados hasta una dosis global de media de 10 kGy no presentan riesgos toxicológicos en su comestibilidad, ni crea problemas especiales de orden nutricional o microbiológico. Niveles de radiación utilizados hasta esa dosis no requiere de pruebas de toxicología, y son usados actualmente en diversas aplicaciones. Su distribución a los 122 países miembros se realizó a finales del año 1983. (Muñoz y col. 1985; WHO, 1988).



**Figura 3. Símbolo "Radura". Debe aparecer impreso en verde en el etiquetado de los productos alimenticios tratados por irradiación.**

## **2.2 EL MANGO.**

Es una especie tropical nativa del sud-este de Asia, oriunda de los bosques de los montes Himalaya de la India y la parte oeste de Burma, desde donde se extendió a Vietnam, Indonesia, Ceilán y Pakistán. En América Latina el primer país que cultivo el mango fue Brasil (Franciosi, 1985).



El fruto del mango es una drupa carnosa achatada lateralmente, que procede de un carpelo único del gineceo sincárpico de una flor individual, con una semilla única y varía en tamaño, forma, coloración, aroma, sabor y presencia de fibra entre cultivares. El pericarpio encierra una semilla grande, un mesocarpio carnoso y comestible y un endocarpio duro que cubre la semilla, cubierto en una lámina externa leñosa y una membrana interna papirácea. El exocarpio está provisto de lenticelas que presentan diferentes mezclas de matices de verde, amarillo y rojo a la maduración (Tello, 1997).

### **LA VARIEDAD HADEN.**

La variedad Haden fue obtenida en Florida (EEUU) a partir de la variedad "Mulgoba", por hibridación natural. La planta es de tamaño medio a grande, pudiendo alcanzar un desarrollo excepcional en lugares como "San Lorenzo" en Piura.

El fruto es grande, de forma ovalada-cordiforme y su peso varia entre 300 a 550 g. La cáscara es gruesa y representa en promedio del 7 al 15% del peso total, su color es amarillo y muy vistoso, con manchas rojas a ambos costados; la pulpa es jugosa, de color anaranjado-amarillento, con reducida cantidad de fibra y ligero sabor a trementina que va desapareciendo conforme el fruto alcanza su madurez; la pulpa representa del 70 al 85% del peso del fruto, mientras que el carozo puede variar entre el 10 al 12% del peso total.



**Figura 4. Mango variedad “Haden”**

### **2.2.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.**

El mango (*mangífera indica*) se ubica en el reino vegetal dentro de la siguiente clasificación taxonómica:

Reino	: Vegetal
División	: Spermatophyta
Sub-división	: Magnoliophytina (angiosperma)
Clase	: Magnoliatae
Orden	: Rutales
Familia	: Anacardiáceas
Género	: Mangífera
Especie	: <b><i>Mangífera indica</i></b>
Nombre Común	: Mango

Fuente: Franciosi (1985).

### **2.2.2 VALOR NUTRITIVO.**

El mango es considerado una de las más importantes frutas tropicales del mundo, después del plátano por su fino sabor y aroma, su atractiva coloración y su valor nutritivo. Un mango compite ventajosamente con otras frutas de origen tropical, como con otras de origen templado y es probablemente la fuente natural más rica de  $\beta$ -caroteno (precursor de la vitamina A) y contiene también cantidades apreciables de ácido ascórbico (Vitamina C) cuando en estado verde,

el cual disminuye progresivamente con la maduración de la fruta (Quispe, 1988).

El mango también es fuente de tiamina y niacina, pero su contenido es bajo en riboflavina.

En el cuadro 5, Se presenta la composición química del mango según el Instituto de Nutrición del Perú.

**Cuadro 5. Composición química del mango.**

COMPONENTE	CANTIDAD (En 100 g de pulpa)
Calorías	60.0 g
Agua	83.0 g
Proteínas	0.40 g
Grasa	0.20 g
Carbohidratos	15.9 g
Fibra	1.00 g
Cenizas	0.30 g
Calcio	17.0 mg
Fósforo	15.0 mg
Hierro	0.40 mg
Caroteno	1.03 mg
Tiamina	0.03 mg
Riboflavina	0.11 mg
Niacina	0.39 mg
Ácido ascórbico	24.8 mg

Fuente: Ministerio de Salud. Instituto de Nutrición del Perú, 1996.

El contenido de proteínas es más elevado que algunas otras frutas. Los aminoácidos presentes en la fracción nitrogenada no proteicas en mangos maduros son: ácido aspártico, ácido glutámico, alanina, glicina y posiblemente el alfa-aminobutírico, con pequeñas cantidades de metionina y leucina.

Las cenizas según Quispe (1988) contienen calcio y hierro, pero en general el mango es pobre como fuente de minerales.

### **2.2.3 ASPECTOS AGRÍCOLAS.**

El mango es una planta permanente, de modos distintos de vegetar según la variedad considerada, requieren de climas tropicales con temperatura que no bajen de 15°C y alturas inferiores a los 600 m.s.n.m. Con referencia a los suelos el mango se adapta bien, la producción se inicia al tercer año, en plantas injertadas, la época de floración puede adelantarse o atrasarse de acuerdo al volumen de la cosecha anterior o la disponibilidad de agua en el suelo u otros factores. La cosecha se da entre los meses de diciembre y marzo (Sabino, 1997).

En el Perú la cosecha de los primeros frutos de mango “Haden” en el departamento de Piura puede realizarse a partir de la segunda quincena de noviembre. Sin embargo, el grueso de la cosecha sale en diciembre y enero. En Motupe y Olmos en el departamento de Lambayeque, es un poco más atrasado que en Piura. En Ica la cosecha comienza la segunda quincena de febrero, pudiendo prolongarse hasta marzo. En Huaral se cosecha a partir del mes de marzo y durante el mes de abril, culminando de esta manera la campaña de mango en Perú.

#### **2.2.4 MOMENTO DE LA COSECHA Y DETERMINACIÓN DEL GRADO DE MADUREZ.**

Las cualidades propias del mango, sabor y color, sólo pueden lograrse cuando los frutos son cosechados después de haber alcanzado su madurez fisiológica. Si la fruta es cortada muy verde no madura normalmente, y si se utilizan medios artificiales como el carburo de calcio, la cáscara adquiere un color amarillo pero el sabor de la pulpa es insípido y hasta desagradable. La fruta inmadura no desarrolla el color típico de la pulpa la cual permanece de color amarillo pálido: el valor de los sólidos solubles expresados en grados Brix, es bajo como la relación azúcar-acidez. Asimismo, puede observarse que la fruta cosechada verde se arruga y produce abundante cantidad de látex. Por otro lado cuando la fruta es recogida muy madura, se vuelve sensible a los golpes y ataques de hongos por

lo que el almacenamiento se reduce en forma notoria. Es esencial, por lo tanto, efectuar la cosecha en el punto correcto de madurez para facilitar el transporte a largas distancias, así como lograr la maduración normal y aumentar el periodo de almacenamiento.

El mejor momento de cosecha es cuando los frutos han logrado su completo desarrollo pero antes de su completa maduración. Dado que la floración del mango se produce durante un período que puede durar 30 a 45 días, los frutos alcanzarán el punto de cosecha en forma escalonada.

Como ya se mencionó, se ha indicado que el mejor momento de cosecha coincide cuando la fruta ha alcanzado su madurez fisiológica. Esta etapa se reconoce por el cambio de color de la cáscara de un verde oscuro pasa a un amarillo suave en la parte opuesta al pedúnculo o punta del fruto; en el caso de la variedad “Haden” además, comienza a desarrollarse la típica “chapa roja” en ambos costados de la fruta la cual al llegar a este punto se desprende con facilidad de la planta.

Para determinar el grado de madurez se utilizan varios métodos en los cuales se tiene que tener en cuenta las características propias de cada variedad de mango. No existe un sistema que pueda aplicarse sin algún ajuste a todas las variedades de esta fruta. Existen métodos físicos y químicos. Los métodos químicos sirven para determinar contenidos de almidón, azúcar, ácido, caroteno. Con los métodos físicos miden se mide la dureza o textura de pulpa, los sólidos solubles, el peso específico y el crecimiento de los “hombros” de la fruta o sea su forma específica.

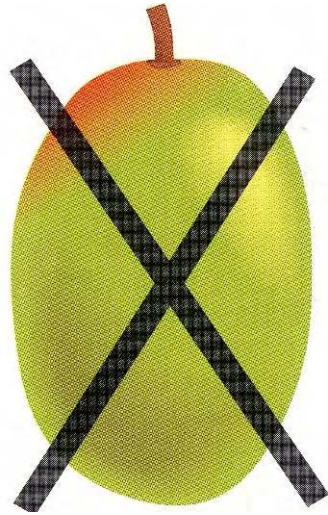
En la práctica se utilizan los siguientes índices de madurez:

**b) Grados Brix en %.**

La fruta para almacenamiento de corto plazo debe tener 10% °Brix, para largos transportes 8% °Brix, máximo 9%.

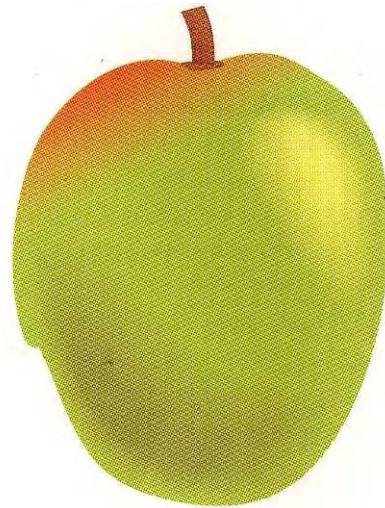
**c) Forma de la fruta.**

Cada variedad de mango tiene una forma específica cuando ha llegado a su total desarrollo y puede determinarse observando que los “hombros” de la fruta en su parte superior están ya formado y llenos presentando forma típica de su variedad (ver figura 5 y 6).



**Figura 5.**

Características externas del Mango Haden en su desarrollo fisiológico para su cosecha. Al no tener los hombros desarrollados no se recomienda aún su recolección.



**Figura 6.**

Desarrollo adecuado del Mango Haden, con un desarrollo externo adecuado para ser cosechado.

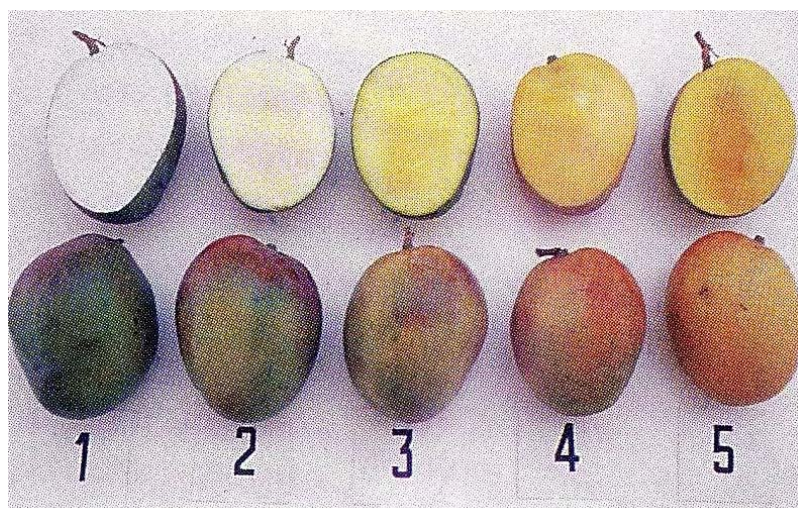
Fuente: PROTRADE – GTZ (1992).

#### **d) Color de la cáscara.**

Listas para ser cosechadas estarían aquellas frutas en el momento en el cual su color básico inicial se empieza a aclarar ligeramente. En la variedad “Haden” al momento de cosecharse deben tener la nariz amarilla.

#### **e) Color de la pulpa.**

Se requiere en este caso una coloración amarilla más oscura y muy definida de la pulpa alrededor de la semilla.



**Figura 7. Color de la pulpa del mango en sus diferentes estados de madurez.**

Fuente: PROTRADE – GTZ (1992).

**f) Consistencia de la pulpa.**

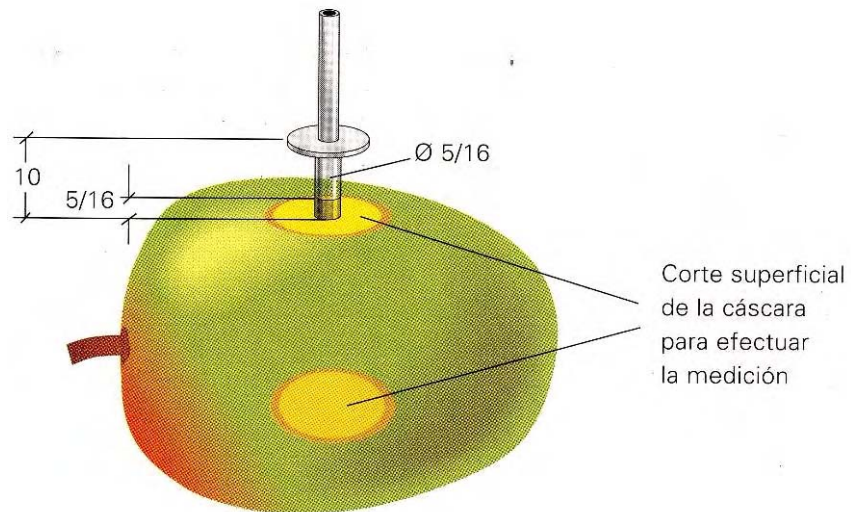
La consistencia de la pulpa de la fruta cambia según la variedad y zona de producción. Su medición se realiza mediante la utilización de un penetrómetro o tenderómetro, teniendo como base unos valores específicos para cada región logrados por experiencia. Las mediciones se practican en los sitios que se muestra la figura.



**Figura 8. Penetrómetro**

Fuente: PROTRADE – GTZ (1992).





**Figura 9. El penetrómetro y la posición de la medición de la textura del mango.**

Fuente: PROTRADE – GTZ (1992).

### 2.2.5 MANEJO POSTCOSECHA.

El mango es una de las frutas mejor pagadas en los mercados internacionales, por tal razón las exigencias de calidad son especialmente exigentes, los productores y exportadores tienen que darle mucha importancia a este hecho, ya que la competencia de un creciente número de oferentes de países productores de mango se incrementará más cada año.

#### a) Tratamiento con agua caliente.

Todos los mangos destinados a la exportación deben recibir inmediatamente después de la cosecha un tratamiento con agua caliente para eliminar posibles infecciones por **antracnosis**. Los mangos se sumergen durante 5 minutos en agua caliente a 55 °C (la variedad Tommy Atkins constituye una excepción, ya que su cáscara es muy delicada, y por lo tanto la temperatura del agua no puede superar los 52 °C). La eficiencia del tratamiento térmico se acrecienta agregándole fungicidas al agua caliente. En la práctica se utiliza comúnmente Sportak (Prochloraz) al 0.2% o Tecto líquido (TBZ) al 0.2% (Aunque se ha detectado que muchos hongos han



desarrollado resistencia a este producto). Para evitar manchas de fungicida sobre la cáscara debe agregarse al fumigante un reductor de la presión superficial tal como Agral o Expón al 0.03%. Este tratamiento podría acarrear inconvenientes, si las frutas se enfrían demasiado rápido después del tratamiento térmico (pre-enfriamiento) pueden constituirse sobre la cáscara manchas verdes al madurar la fruta, lo cual va en detrimento de su apariencia. Frutas con este problema son atacadas por hongos, por tales razones, los mangos deben enfriarse primero a temperaturas ambiente después del tratamiento con agua caliente. Esto puede ser realizado con ayuda de ventiladores que generen una fuerte corriente de aire de tal manera que la fruta se seque al mismo tiempo. Apenas después de lograr la temperatura ambiente, los mangos deberán ser introducidos en las cámaras de almacenamiento refrigerado (PROTRADE GTZ 1992).

#### **b) Control de la mosca de la fruta.**

Los Estados Unidos y Japón solo permiten la importación de mangos a su país cuando se cuenta con la certificación de que las larvas y los huevos de la mosca de la fruta han sido eliminadas con un tratamiento especial bajo control oficial. Esto no es exigido ni por Canadá ni por los países europeos. El tratamiento exigido se realiza a una temperatura interna del mango (temperatura de la pulpa) de 45°C durante 10 minutos. Para este fin los mangos se sumergen después del tratamiento con agua caliente en otro recipiente de agua con una temperatura de 45°C. El tiempo de inmersión varía de acuerdo al tamaño de la fruta y se determina con unas termocuplas que se introducen en la pulpa de algunas frutas de prueba. Otro método para controlar la mosca de la fruta consiste en la irradiación.

#### **c) Empaque para transporte.**

Para el transporte de mangos frescos se deben utilizar cajas de cartón corrugado. Para asegurar su resistencia y protegerla contra la

humedad, se requiere de una calidad de cartón de 300 g/m<sup>2</sup>. Se recomienda preferiblemente la caja telescópica según la FEFCO código 0320 con paredes perpendiculares dobles, como también la caja abierta por encima en forma de bandeja reforzada. Esta última para una mejor estabilización en la estiba, debe poseer un dispositivo de cartón que se encaja en un orificio ubicado en la parte inferior de la caja superpuesta.

Las dimensiones internas de la caja deben ser 10.9 x 34 x 26.9 cm. ó 10.2 x 43.2 x 27.9 cm. Europa prefiere cajas de 30 x 40 cm. y 10 - 12 cm. de altura con 10 mm de espacio para ventilación, mientras que en los Estados Unidos los importadores prefieren manejar cajas de 40 x 50 x 10 - 12 cm.

La forma de empacar la fruta debe ser suave para protegerla. Los mangos deben estar colocados de tal manera que no se rueden permanentemente con el movimiento del vehículo. Cada mango se envuelve en un papel suave y se debe apoyar en los costados de la caja sobre una cama de papel picado, en lugar de ponerlo directamente en la base, además de ser colocados en una sola fila dentro de cartones de fibra. Se utilizan separadores de cartón para prevenir la fricción de frutas entre sí, además de mejorar la presentación.

Una caja puede contener entre 6 y 14 mangos y cuenta con un peso neto de 4.5 kg ( $\pm$  500 g). Las unidades de empaque más demandadas son las de 8, 9, 10 y 12 mangos por caja.

El rotulado sobre el empaque tiene como función proteger e informar al consumidor, debe ser clara y visible, la impresión adicional de propaganda y datos sobre peso, temperatura óptima de almacenamiento (14 °C), procedencia etc., tienen que estar impresas en tamaño más pequeño que los rubros exigidos por las normas de calidad.



**Figura 10. Paletizado de cajas de mangos.**

## **2.2.6 ZONAS PRODUCCIÓN EN EL PERÚ.**

Las zonas de mayor producción en el Perú son los valles de San Lorenzo y Alto Piura en el Departamento de Piura, en los cuales se tiene 4268 hectáreas de mango en producción y 1428 hectáreas en crecimiento (SENASA, 2005).

**Cuadro 6. Zonas de producción de mango para exportación y áreas de producción.**

<b>Departamento</b>	<b>Áreas total cultivada</b>	<b>Áreas de exportación</b>	<b>Áreas certificadas 2004-2005</b>
Piura	12000	7000	2551
Lambayeque	1914	1800	1213
La Libertad	100	100	41,5
Ancash	650	650	315
Cajamarca	1000	-	0

Fuente: SENASA (2005)

## 2.3 EXPORTACIÓN DE MANGO.

El Perú sólo exportaba a los Estados Unidos en la campaña 86 y 87 utilizando dibromuro de etileno, pero en septiembre de 1987 se prohibió dicho tratamiento para “la moscas de la fruta” por considerarse una sustancia cancerígena. Por lo que en la campaña de 87 y 88 sólo se exportó a la Comunidad Económica Europea y al Canadá. En la actualidad la condición para que ingrese mango a los EE.UU. es que estos tengan la autorización de la FDA para el uso del Tratamiento Hidrotérmico o de agua caliente para el control de las “moscas de la fruta” (Rivas, 1993).

En la actualidad el Perú cuenta con 5 plantas de Tratamiento Hidrotérmico para el mango, reiniciando sus exportaciones a los EE.UU. desde la campaña 90-91 y 92-93. En ambas campañas el mango peruano recibió el Premio a la Calidad, lo que ha creado gran expectativa en los importadores americanos y en nuestras exportadoras para las siguientes campañas (Rivas, 1993).

En el cuadro 7 se observa la evolución de los volúmenes de exportación del mango peruano.

**Cuadro 7. Volúmenes de exportación de mango Haden y país de destino.**

PAIS DE DESTINO	Nº DE CAJAS				TONELADAS MÉTRICAS			
	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005
Alemania				1194				4,9
Bélgica	8856			6493	35,93			26,62
Canadá	72252	46835	24042	114605	290,33	187,34	96,92	460,74
EE UU	662607	888218	696406	485109	2761,05	3607,95	2872,34	1956,55
España	80068	65116	38709	20892	327,20	266,88	154,72	83,58
Francia	10038	770			42,96	3,07		
Holanda	13340	49814	69018	85880	53,36	184,71	276,09	359,04
Inglaterra	20488	4266	7158	30582	81,95	17,06	26,73	123,3
Nueva Zelanda		4114	0			16,46		
Panamá	3573	9865	4646	226	15,11	36,35	18,58	0,9
<b>TOTAL</b>	<b>871222</b>	<b>1068998</b>	<b>839979</b>	<b>744981</b>	<b>3607,88</b>	<b>4319,83</b>	<b>3445,39</b>	<b>3015,63</b>

Fuente: SENASA (2005)

### 2.3.1 VARIEDADES DE MANGO PARA EXPORTACIÓN.

El mango para exportación se clasifica en dos grupos de acuerdo al color que presentan.

**Rojas:** Haden, Tommy Atkins, Kent y Keitt.

**Verdes:** Alphonse, Julie y Amalie.

Los cultivares rojos son los de mayor demanda y las que exporta el Perú y el resto de América Latina. En el Perú se cultivan unas 48 variedades de mango, entre las cuales destacan por su calidad y gran aceptación en el exterior las variedades Kent, Haden y Tommy Atkins. De estas variedades la que sobresale es la variedad Haden, por su mayor calidad y características de forma ovalada, color amarillo con una gran chapa roja, pulpa amarillo-naranja, sin fibra, suave y jugosa con semilla pequeña. Lo cual lo hace de excelente calidad y de mucha demanda sobre todo en los consumidores de los EE.UU. (Franciosi, 1985; Tello, 1997).

El mango Haden peruano cumple superiormente con las características requeridas en el mercado americano:

#### **Mango “Haden” Mercado USA.**

**Tamaño:** mediano a largo.

**Forma:** ovalada y redondo.

**Color:** amarillo con manchas rojas.

**Fuente:** “The Packer” Produce Availability & Merchandising Guide (1996).

Los mayores importadores de mango son la Comunidad Económica Europea y los Estados Unidos, y son también nuestro principal mercado. El mayor consumidor de mango en el mundo es Estados Unidos, sus principales proveedores son México y Haití con aproximadamente el 98% del total de sus importaciones.

A pesar que el Perú contribuye en un pequeño porcentaje tiene una ventaja sobre los demás países, que es la de abastecer de mango en una temporada en que los países exportadores han terminado su

campaña, es decir durante la campaña peruana no se tiene competidores.

Sin embargo las exportaciones peruanas presentan una limitante fitosanitaria, referidas al control de la “mosca de la fruta”. En cuanto al Canadá y la Comunidad Económica Europea no existe limitaciones para la importación de frutas y otros vegetales.

El Servicio Nacional de Sanidad Agraria, es la institución gubernamental que toma acciones mediante un programa de exportación de mangos en coordinación con los exportadores y el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) a través de **Animal and Plant Helth Ispection Service** (APHIS). Las plantas de Tratamiento Hidrotérmico desarrollan sus acciones bajo la supervisión de un especialista del APHIS y un especialista del Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA, 2005).

**Cuadro 8. Volúmenes de exportación de mango por campaña de exportación y variedades.**

CAMPAÑA	VARIEDADES DE MANGO (TM)					
	Haden	Kent	Tommy .A	Edwar	Keit	TOTAL TM
2001 -2002	3607,88	26720,34	1984,62	0,00	65,34	<b>32378,18</b>
2002 -2003	4319,83	28013,69	2249,22	0,96	48,86	<b>34632,55</b>
2003 - 2004	3445,39	42400,80	2658,66	0,00	52,68	<b>48557,52</b>
2004 - 2005	3015,63	59341,48	2931,5	0,02	338,56	<b>65629,82</b>

Fuente: SENASA (2005)

## 2.4 LAS MOSCAS DE LA FRUTA.

Las moscas de la fruta pertenecen a la familia ***Tephritidae*** al orden de las ***Dípteras***, que comprende alrededor de 4000 especies a nivel mundial, de las cuales aproximadamente 20 a 25 especies ocasionan daños de importancia económica en el Continente Americano. Estos organismos encuentran las condiciones óptimas para su desarrollo y multiplicación en las frutas y vegetales frescos con un poder de adaptación extraordinario en los huertos frutícolas.

### 2.4.1 PROBLEMÁTICA MUNDIAL.

Las moscas de la fruta de la familia ***Tephritidae*** son consideradas las plagas de mayor importancia por exportadores de frutas en todo el mundo. Los mayores volúmenes de mercancías y la apertura al comercio internacional traducen un mayor riesgo de ingreso de plagas y enfermedades, entre las que destaca por su facilidad de dispersión y el daño que ocasionan las moscas de la fruta.

Los daños son directos al infestar los frutos y reducir cosechas; e indirectos por limitar las exportaciones, por los costos que genera la aplicación de un tratamiento de postcosecha, por la reducción en la calidad del producto y por la contaminación ambiental generada por los tratamientos de control.

Controlar las “moscas de la fruta” representa una alta prioridad para la industria frutícola, tanto en los países libres de mosca como en los infestados. En el caso de países libres de “moscas de la fruta”, millones de dólares son aplicados anualmente al reforzamiento de las inspecciones y de la cuarentena evitando la introducción y establecimiento de moscas exóticas y en el mantenimiento de redes de vigilancia para detectar y eliminar oportunidades de brotes de esta plaga.

Los países que realizan este tipo de programas particularmente estrictos para interceptar y eliminar cualquier posible invasión de moscas de la fruta de importancia económica y cuarentenaria son: Estados Unidos (California y Florida), Nueva Zelanda, Australia, Japón y Chile (SENASA, 2003).

Las primeras plagas se detectaron en las Islas Bermudas en 1856, en Australia 1897 y en Brasil en 1901. Se extienden por todo América especialmente en las áreas tropicales y subárticas, también se encuentran en algunos países de Asia y Europa.

Alrededor de 285 especies de frutales y hortalizas son atacados por la mosca del mediterráneo ***Ceratitis capitata* Wiedemann**, cuyos daños para las zonas de Centro América, Panamá, el Caribe, México y

Estados Unidos se calcularon en alrededor de 3000 millones de dólares anuales, para 1982 a 1984, si a esto le sumamos los daños que causan las especies del género **Anastrepha** (180 especies a nivel mundial), cuya significación económica aún no ha sido bien determinada, estamos entonces, frente a un problema fitosanitario de grandes proporciones (SENASA, 2003).

#### 2.4.2 LAS ESPECIES DE MOSCAS DE LA FRUTA EN EL MUNDO.

Estas especies que infestan a los frutos, pertenecen a la familia Tephritidae. Según Aluja 1993 los representantes de esta familia constituyen las verdaderas moscas de la fruta, citando a 14 especies agrupadas en 6 géneros (citadas en los 6 primeros lugares) y 8 son plagas menores:

- **Anastrepha fraterculus** (Wiedemann), "Mosca sudamericana de la fruta" (América nor tropical y Sudamérica).
- **Ceratitis capitata** (Wiedemann), "Mosca del mediterráneo" (el mediterráneo, Sudamérica, Sudáfrica, Rhodesia sur).
- **Dacus dorsalis** (Hendel), "Mosca oriental de la fruta" (India, China, Filipinas).
- **Dacus tryoni** (Froggat) "mosca de la fruta de Queensland" (Australia).
- **Dacus tsuneonis** (Miyake), "Mosca japonesa de la naranja" (Japón).
- **Pterandrus rosa** (Karsch), "Mosca de la fruta de Natal" (Sudáfrica).
- **Anastrepha ludens** (Loew), "Mosca mexicana de la fruta", (EE.UU., América nortropical).
- **Anastrepha suspensa** (Loew), "Mosca de la fruta" (Cuba, Puerto Rico).
- **Dacus caudatus** (Fabricius), "Mosca de la fruta", (India).
- **Monacrostichus citricola** (Bezzi), "Mosca de la fruta" (Filipinas).
- **Rioxa pormia** (Walker).



El mismo autor afirma, que por la distribución geográfica que ha alcanzado y por la magnitud de los daños que causa, ***Ceratitis capitata* Wiedemann** merece ser considerada como la especie más importante de todas ellas.

**Cuadro 9. Distribución mundial de los principales géneros de tephritidae.**

Género	Asia	Europa	Oceanía	Africa	América
<i>Anastrepha</i>					+
<i>Dacus</i>	+	+	+		
<i>Rhagoletis</i>		+			+
<i>Ceratitis</i>	+		+	+	+

Fuente: SENASA (2001).

**Cuadro 10. Distribución regional de las principales moscas de la fruta.**

Especies	* EE.UU., Canadá + México	Centro América	Sud América	Caribe
<i>Ceratitis capitata</i>	+ *	+	+	
<i>Anastrepha fraterculus</i>	+	+	+	
<i>A. ludens</i>	+	+	+	
<i>A. obliqua</i>	+	+	+	+
<i>A. serpentina</i>	+	+	+	+
<i>A. striata</i>	+	+	+	
<i>A. suspensa</i>	*			+
<i>A. grandis</i>			+	
<i>Anastrepha spp</i>	*	+	+	
<i>Rhagoletis spp</i>	*	+	+	
<i>Toxotrypana curvicauda</i>	+ *	+	+	+

\* Solo en EE.UU. (*C. capitata* en EE.UU. solo en Hawai)

+ Solo en México.

Fuente: SENASA (2001).

### 2.4.3 LAS ESPECIES DE LAS MOSCAS DE LA FRUTA EN EL PERÚ.

Con el nombre de la mosca de la fruta no entendemos solamente a una única especie, sino a varias especies del género **Anastrepha** (Schiner), familia Tephritidae.

La famosa y tan peligrosa "mosca del mediterráneo" **Ceratitis capitata** no existía en el Perú (Wille, 1958).

Las diferentes moscas de género *Anastrepha* encontradas en el Perú, hasta ese momento, fueron:

- **Anastrepha fraterculus** (Wiedemann), en toda la costa, sierra y montaña.
- **Anastrepha serpentina** (Wiedemann), en toda la costa.
- **Anastrepha distincta** (Greene), en Chiclayo, Huaraz, Valle Mantaro de Huancavelica, valles cálidos en Cuzco y otros valles altos hasta 3000 m.s.n.m.
- **Anastrepha chiclayae** (Greene), en el norte de la costa desde el departamento de Lambayeque.
- **Anastrepha striata** (Schiner), en las mismas zonas.
- **Anastrepha grandis** (Macquat), en las mismas zonas.
- **Anastrepha lambda** (Hendel), en la misma montaña.
- **Anastrepha cryptostrepha** (Hendel), en la montaña.

El mismo Dr. Wille (1958) dio a conocer, que en octubre noviembre de 1956, fueron descubiertos los primeros ejemplares de **Ceratitis capitata Wiedemann** en una remesa de cítricos en Huánuco, encontrándose posteriormente más moscas del mediterráneo en el mismo Huánuco y otros sitios de la costa. Él planteaba la hipótesis, que la infestación en el Perú se realizó desde el Brasil, pasando las moscas por la selva en frutales silvestres hasta Huánuco y de allí hacia la costa.

Al respecto Gamero de la Torre (1961) consideró que dentro de las plagas que mayor daño causaban a la fruticultura en el país, estaban las "moscas de la fruta" en sus dos especies, mediterránea y común, siendo la primera la más peligrosa y de reciente constatación en

1957; Siendo la segunda conocida como una plaga casi nativa y por la cual nuestro país se veía impedido de exportar determinadas especies de frutas, provenientes de plantas consideradas susceptibles y huéspedes de esta plaga.

Torres y col. (1967) mediante muestreo de poblaciones, obtuvieron datos con los cuales afirmaron que en los departamentos de Lambayeque y Piura, *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann), era la especie más abundante. *Ceratitis capitata* (Wiedemann), estaba en muy baja población tanto en Lambayeque como en Piura.

#### 2.4.4 MORFOLOGÍA DE LAS MOSCAS DE LA FRUTA.

Las moscas de la fruta pueden ser divididas en dos grandes grupos, de acuerdo a sus características fisiológicas y ecológicas: especies univoltinas (una generación al año), que habitan regiones de clima templado con una fluctuación estacional marcada, como moscas del género *Rhagoletis* y las especies multivoltinas (varias generaciones al año), comunes en regiones con clima subtropical y tropical como moscas del género *Anastrepha* y *Ceratitis* (Aluja, 1993).

Algunas especies bajo condiciones tropicales pueden completar hasta 12 generaciones al año, manteniendo niveles de población muy elevadas. De acuerdo a las exigencias del medio ambiente y la época del año se desplazan de una planta a otra. Cuando un hospedante preferido desaparece, migran a otro, lo que les permite completar una nueva generación.

A veces atacan simultáneamente tres o cuatro hospedantes si éstos coinciden en su época de fructificación. Algunas especies se caracterizan por preferir cierto tipo de fruto o familia de éstos, por esta razón sus nombres comunes se relacionan con su hospedante preferido, ver cuadro siguiente.

**Cuadro 11. Moscas de la fruta en el Perú, y sus hospedantes más frecuentes**

Moscas de la fruta		Hospedantes más frecuentes	
Nombre científico	Nombre vulgar	Nombre científico	Nombre vulgar
<i>Ceratitis capitata</i>	Mosca del Mediterráneo	Varias	Varias
<i>Anastrepha fraterculus</i>	Mosca del mango	<i>Manguifera indica</i>	Mango
<i>A. obliqua</i>	Mosca de la ciruela	<i>Spondia spp</i>	Taperibá y otras
<i>A. striata</i>	Mosca de la guayaba	<i>Lucuma obovata</i>	Lúcuma
<i>A. distincta</i>	Mosca del paca	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba
<i>A. grandis</i>	Mosca de cucurbitáceas	<i>Cucurbita sp.</i>	Sandia, melón y otras.
<i>A. serpentina</i>	Mosca de sapotáceas	<i>Inga feuillei</i>	Paca

Fuente: SENASA (2001).

En algunas especies el hospedante preferido en una zona, área o lugar no es el mismo para otra región, por ejemplo: La mosca del mediterráneo (***Ceratitis capitata***) en Piura prefiere al almendro tropical (***Terminalia cattapa***), en cambio en Lambayeque prefiere al mango aún cuando existe almendro tropical.

Constantemente se adapta a las condiciones del lugar, principio biológico por el cual frecuentemente amplían su rango de hospedantes y sufren proceso de especialización.

Cuando son introducidas en un nuevo lugar, amplían poco a poco, el número de especies frutales atacadas.

#### **2.4.5 CICLO BIOLÓGICO.**

Las moscas de la fruta presentan una metamorfosis completa u holometábola que se divide en las siguientes etapas: huevo, larva, pupa y adulto. La mayor parte de su ciclo biológico la pasan en estado inmaduro, cuando dañan los frutos.

Una hembra sexualmente madura fecundada, inserta su ovipositor en un fruto y deposita una serie de huevos, de los cuales emergen las larvas que se alimentan de la pulpa de los frutos hasta completar los

tres estadíos larvales, luego de salir del fruto se entierran en el suelo donde se transformarán en pupas. Después de algún tiempo, emergen los adultos que iniciarán un nuevo ciclo.

El siguiente cuadro describe las variantes de tiempos del ciclo biológico de moscas de la fruta de importancia económica y cuarentenaria.

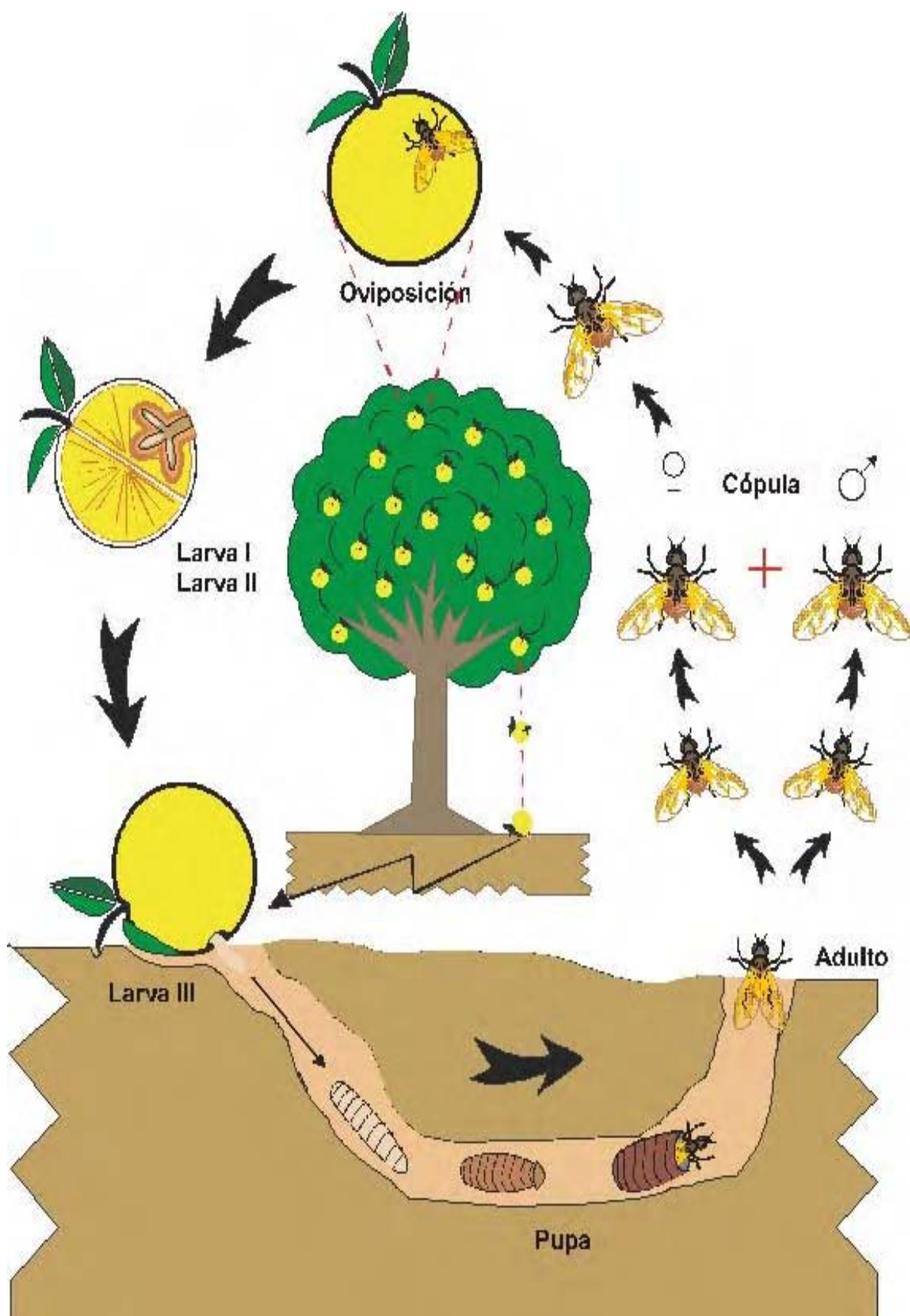
**Cuadro 12. Biología de moscas de la fruta de importancia económica y cuarentenaria para el Perú**

ESPECIE	Ciclo Biológico (Días)			Capacidad Oviposición (Huevos)	Generación por Año
	Huevo	Larva	Pupa		
<b><i>Ceratitis capitata</i></b> <sup>*</sup> (mosca del mediterráneo)	2-7	6-11	9-15	300-800	12
<b><i>Anastrepha fraterculus</i></b> <sup>**</sup> (mosca sudamericana)	3	8-9	12-14	400-800	8-10
<b><i>Anastrepha striata</i></b> (mosca del guayabo)	1-4	10-25	10-15	100-800	4-8
<b><i>Anastrepha serpentina</i></b> (moscas de las sapotáceas)	1-4	10-25	10-25	100-800	4-8
<b><i>Anastrepha obliqua</i></b> (mosca del ciruelo)	1-4	10-25	10-25	100-800	4-8

<sup>\*</sup> La duración de cada etapa del ciclo biológico depende directamente de las condiciones ambientales.

<sup>\*\*</sup> Datos obtenidos en el Centro de Producción y Esterilización de Moscas de la Fruta del SENASA.

Fuente: SENASA (2001).



**Figura 11. Ciclo Biológico de la Mosca de la Fruta.**

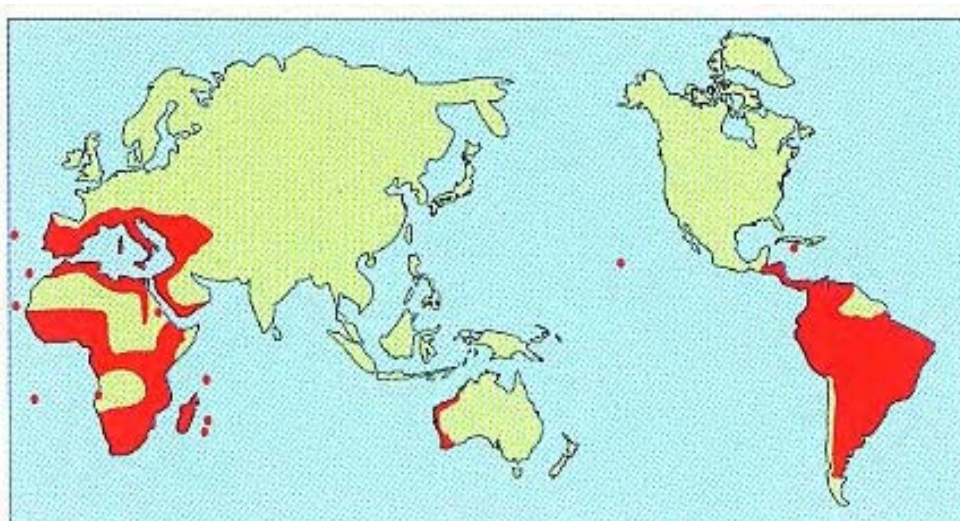
Fuente: SENASA (2001).

#### 2.4.6 LA ESPECIE *Ceratitis capitata* Wiedemann.

La especie mas importante de las moscas de la fruta a nivel mundial es, sin duda la Mosca del Mediterráneo *Ceratitis capitata* Wiedemann por atacar a mas de 250 especies frutícolas entre las que destacan: cítricos, mangos, bananas (excepto cuando está maduro), manzanas, papaya, etc. (SENASA 2001).

Esta especie es originaria de África, fue detectada en el Mediterráneo y Noreste de España en 1842. Después se estableció en Australia, Sudamérica y Hawai (JICA, 1986).

Según Gamero de la Torre (1961) los principales países en los cuales se había constatado estas plagas fueron: Islas Azores, Islas Canarias, Portugal, España, Francia, Italia, Hungría, Grecia. Malta, Chipre, Turquía, Siria, Palestina, todo el continente africano con sus islas respectivas, Austria, Tasmania, Nueva Zelanda, Brasil, Argentina, Bolivia, Islas Bermudas.



**Figura 12. Áreas infestadas en el mundo por la especie de *Ceratitis capitata* Wiedemann**

##### 2.4.6.1 CICLO BIOLÓGICO.

El ciclo de vida del adulto durante el verano puede ser de un mes en el campo. La hembra durante este periodo pone entre 300 a 800 huevos. Bajo condiciones de temperatura de 26° C, una hembra pone hasta 1 000 huevos en dos meses.

El número de generaciones puede ser de hasta 11 veces en Hawai y una vez en Europa central (JICA, 1986).

#### **a) Huevos.**

La especie ***Ceratitis capitata* Wiedemann** oviposita paquetes de 10 a 12 huevos los que se incuban por espacio de uno a siete días antes de la eclosión. Son sumamente susceptibles a la deshidratación y dependiendo del sustrato y las condiciones ambientales se desarrollan rápida o lentamente.



**Figura 13. Huevos de *Ceratitis capitata* Wiedemann**

#### **b) Larva.**

La longitud varía de 3 a 15 mm, muestra una forma mucidiforme o sea ancha en la parte caudal y adelgazándose gradualmente hacia la cabeza, de color blanco o blanco amarillento. Su cuerpo compuesto de once segmentos; tres de la región torácica y ocho del abdomen, además de la cabeza. La región cefálica no es esclerosada, cabeza pequeña, retráctil y en forma de cono.

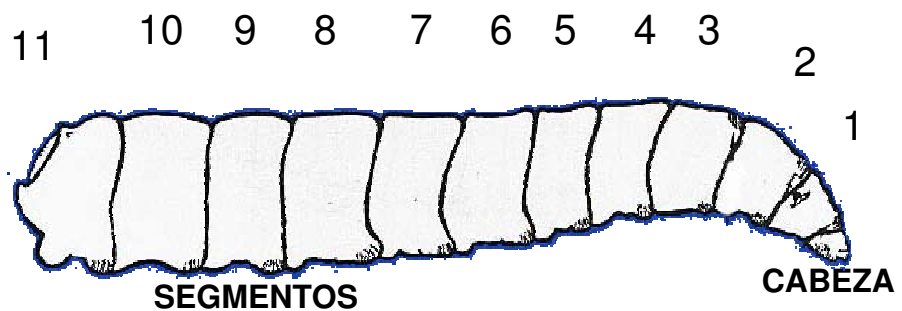
Las larvas durante su desarrollo pasan por tres estadíos que se pueden determinar por el tamaño de las mismas: primer estadío, segundo estadío y tercer estadío. El periodo de larva dura de 6 a 11 días. Las larvas maduras miden alrededor de 9 mm y tienen el hábito del “jumping”, de contraerse y dar saltos hasta de 5 cm de alto. (JICA, 1986).



Una vez que han alcanzado su desarrollo completo aparece el fenómeno de la pupación.



**Figura 14. Larva de *Ceratitidis capitata* Wiedemann.**



**Figura 15. Larva de tercer estadio de *Ceratitidis capitata* Wiedemann.**

### **c) Pupa.**

Es una cápsula de forma cilíndrica con 11 segmentos; de color café, su longitud es de 3 a 10 mm y su diámetro de 1,25 a 3,25 mm.

El estado pupal puede ser muy corto (de 9 a 15 días) si las condiciones son adecuadas (temperatura, humedad) o prolongarse por varios meses si las temperaturas disminuyen o la humedad es mínima.



**Figura 16. Pupas de *Ceratitis capitata* Wiedemann.**

#### **d) Adulto.**

El adulto tiene el tamaño de un tercio menor a la mosca casera de 4 mm, de color café casi negro con marcas marfileñas con negro brillante en la parte dorsal del tórax. Esqueleto negro con una banda marfil ondulada cerca de la base, alas anchas y cortas, transparentes; con mancha en la parte basal, y bandas en las partes basal y apical; de color café amarillento, blanco y negro. Se caracterizan porque al caminar siempre llevan extendidas sus alas. (JICA, 1986).

El adulto emerge de la pupa rompiendo el pupario con un órgano llamado **ptilinum**, que se localiza sobre la cabeza, con éste empuja una parte del pupario y emerge.

El adulto emergido se desplaza sobre el terreno, hojas secas y estira sus alas por varias horas hasta desplegarlas completamente; usualmente la emergencia ocurre durante las mañanas, este fenómeno de adaptación se da para evitar las altas temperaturas y condiciones de baja humedad o aridez; luego de una semana de emergidas alcanzan su madurez sexual, después copulan, las hembras grávidas colocan sus huevos en los frutos y se repite el ciclo biológico.

El abdomen consta de cinco o seis segmentos; la genitalia del macho es pequeña. En las hembras el séptimo segmento forma la envoltura del ovipositor, en el octavo forma el raspador y el noveno es el ovipositor.

**Macho**

**Hembra**



**Figura 17. Adulto de *Ceratitidis capitata* Wiedemann**

#### **2.4.6.2 COMPORTAMIENTO DE *Ceratitidis capitata* Wiedemann.**

##### **a) Búsqueda del alimento y agua.**

Los adultos de las moscas del género ***Ceratitidis***, requieren para mantener una alta fecundidad, ingerir agua y nutrientes, tales como carbohidratos, aminoácidos, vitamina B y sales que además determinan en gran medida la longevidad del individuo. Particularmente una fuente de alimento en el campo la constituye la mielecilla o dulce excretado por algunos pulgones; en las áreas tropicales las lluvias tienen un efecto negativo ya que lavan estos materiales, sin embargo, ellas lo toman de los exudados de frutos dañados o de frutos sobre maduros.

**Ingiriendo proteína**

**Ingiriendo agua**



**Figura 18. Moscas del Mediterráneo Alimentándose.**

En la búsqueda por el alimento se ha encontrado una respuesta visual y de olor, de ahí el desarrollo de sustancias de atracción,

tales como: proteínas hidrolizadas donde el acetato de amonio es la sustancia principal de atracción.

#### **b) Comportamiento sexual.**

Cuando las moscas de la fruta alcanzan la madurez sexual (entre cinco y veinte días) están listas para cumplir con la cópula, la cual realizan después de un complejo cortejo sexual, mediante el cual la hembra selecciona al macho más apto.

En especies de ***Ceratitis*** una simple cópula es suficiente para toda su vida y además resisten intentos de cópula después de iniciada la oviposición.

El macho ubica una posición estratégica dentro de la planta y comienza a llamar a la hembra, secreta una feromona sexual, aletea vigorosamente y adopta diferentes posiciones, por lo general se forman grupos de machos o “leks” que compiten entre sí para lograr la supremacía sobre un territorio óptimo; la hembra atraída a estos sitios de despliegue, observa detenidamente y escoge al macho más exitoso.

#### **c) Cópula y oviposición.**

El mayor estímulo de hospedantes a ambos sexos de las moscas de la fruta lo constituyen los componentes volátiles de los frutos en maduración. Hay que considerar la relación planta-insecto.

Una vez que el macho concluyó la cópula, la hembra se dedica a buscar un sustrato de oviposición adecuado, generalmente deposita sus huevos en frutos que estén próximos a madurar (60-70% maduros). Si no encuentra uno disponible, lo hace en frutos verdes o maduros.

La hembra de ***Ceratitis capitata* Wiedemann** oviposita paquetes de entre diez y doce (10-12) huevos en el fruto.

El número de huevos a ovipositar puede ser regulado por la hembra, en caso de que en el fruto exista postura de otra hembra.

#### d) Comportamiento de infestación.

El mayor estímulo de las moscas de la fruta lo que constituye los componentes volátiles de los frutos en maduración. Una vez que el macho terminó la cópula la hembra se dedica a buscar un sustrato de oviposición adecuado, inserta su ovipositor en un fruto y deposita entre 1 y 20 huevos por vez, en caso de ***Ceratitis capitata*** de los cuales emerge larvas que se alimentan de la pulpa de la fruta hasta completar tres estadios, luego de lo cual abandonará el fruto para enterrarse en el suelo donde se transformará en pupa, del cual emergerá una mosca adulta que iniciará un nuevo ciclo generalmente en frutos próximos a madurar (SENASA, 2001).



**Figura 19. Mosca del Mediterráneo ovipositando en fruto de café.**

#### e) Daños en el fruto.

Conforme crece la larva y se alimenta, produce una serie de galerías en la pulpa del fruto que al oxidarse producen la proliferación de bacterias y otros microorganismos que pudren la fruta, creando zonas necróticas, fibrosas y endurecidas de color café oscuro o negro que muchas veces se confunden con galerías de barrenadores. Con frecuencia rozan las semillas dejando marcas negras. Muchas frutas con larvas aceleran su proceso de

maduración y son fácilmente identificados, porque se forman manchas de color café (puntos) en donde la hembra insertó su ovipositor, de esta manera se puede separar los frutos dañados de los buenos (Aluja, 1993).



**Figura 20. Daños producidos en frutos por larvas de Mosca del Mediterráneo**

**f) Medidas de control.**

Uso de insecticidas como el trimedlure; método del insecticida-atrayente utilizando malatión como insecticida y proteína hidrolizada como atrayente; y la técnica del “insecto estéril”, como una medida de control autocida, técnica adoptada por muchos países como medida de control integrado.

El Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú, cuenta con el Centro de Producción de Moscas de la Fruta Estériles del género de ***Ceratitis capitata* Wiedemann**, cepa TSL, que son irradiados en pupa dos días antes de su emergencia a adultos para luego ser liberados de acuerdo al programa de liberación en las Direcciones Ejecutivas del Programa Nacional de Moscas de la Fruta.





Trampa pegajosa (Jackson)



Trampa líquida (McPhail)

**Figura 21. Trampas Usadas por el PNMF-SENASA para el Control de Moscas de la Fruta.**

**Cuadro 13. Especies de Moscas de la Fruta de importancia económica en el Perú, hospederos y su distribución.**

ESPECIE	HOSPEDANTES	DEPARTAMENTO/ VALLE
<b><i>Ceratitis capitata</i> Wied. (mosca del mediterráneo)</b>	Mango, naranja, mandarina, guayabo, paca, manzano, pera, caimito, olivo, café, ciruelo.	Cosmopolita, excepto las áreas frutícolas de: Cusco, Apurímac, Loreto, San Martín, Madre de Dios.
<b><i>Anastrepha fraterculus</i> Wiedemann. (mosca sudamericana)</b>	Mango, guayabo, caimito, ciruelo.	Lima (Huaral, Cañete, Sta. Rosa), Ayacucho (Huanta, Huamanga), Amazonas (Chachapoyas), Piura (San Lorenzo, alto Piura), Lambayeque (Olivos, Motupe).
<b><i>Anastrepha distincta</i>. (mosca del paca)</b>	Paca.	Lima (Huaral), Tacna (Motupe), Ayacucho (Huamanga).
<b><i>Anastrepha obliqua</i>. (mosca del ciruelo)</b>	Mango, ciruelo	Piura, Lambayeque, La Libertad, Lima, Ica, Moquegua, Ancash.
<b><i>Anastrepha estriata</i>. (mosca del guayabo)</b>	Guayabo	Puerto Maldonado, Lima (Huaral), Ucayali (Atalaya), Tumbes.
<b><i>Anastrepha serpentina</i>. (mosca de las sapotáceas)</b>	Caimito.	Piura (San Lorenzo), Amazonas (Chachapoyas)
<b><i>Anastrepha Grandis</i>. (mosca del melón)</b>	Melón.	Lambayeque (Olmos y Motupe).

Fuente: SENASA (2001).

## **2.5 LA IRRADIACIÓN COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE CUARENTENA PARA LA EXPORTACIÓN DE FRUTAS FRESCAS.**

Muchos países establecen barreras cuarentenarias al ingreso de ciertos productos a su territorio, para evitar el ingreso de plagas, como es el caso de las “moscas de la fruta”.

El concepto de plaga de cuarentena, empleado internacionalmente fue establecido por la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria y la FAO donde refieren: “una plaga de cuarentena es un organismo que no se encuentra en el país o zona de destino, o que si existe no está extendida y se encuentra bajo un control activo, y que reúne las condiciones para dispersarse, establecerse y causa serios daños a los cultivos de importancia económica”.

El Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA), define un Tratamiento de Cuarentena como: “la aplicación de un medio físico (calor, irradiación, frío) o químico (fumigantes) para eliminar un organismo no deseado o sus diferentes estadios, presentes en los productos agrícolas con importancia económica, sin dañar la calidad de los frutos, sin ocasionar daño al consumidor y al medio ambiente”.

Los procesos oficiales de cuarentena actualmente en uso para el tratamiento de frutas y plantas vegetales para su exportación son:

- Tratamiento de vapor caliente,
- Fumigación química con dibromuro de etileno (DBE) o bromuro de metilo (MB),
- Tratamiento por frío, o
- Tratamiento combinado: fumigación y frío.

El Tratamiento hidrotérmico sólo ha demostrado su eficacia en mangos y papayas y su uso sólo esta autorizado para la exportación de mangos a Estados Unidos, como alternativa a la fumigación con dibromuro de etileno contra las moscas de la fruta. Pero la alta temperatura puede producir ciertos daños como la aceleración de la maduración, reblandecimiento de los tejidos, etc. (JICA, 1986).



**Cuadro 14. Relación de plantas de tratamiento y empacadoras registradas, campaña 2004-2005.**

SEDE	Nº	Nombre de la Planta/Empac.	Ubicación	Estado
PIURA	1	AGROMAR INDUSTRIAL S.A.	Tambogrande	Funcionamiento
	2	DON DIEGO AGROINDUSTRIAS	Tambogrande	Funcionamiento
	3	PROXSAC	Cieneguilla	Funcionamiento
	4	SUNSHINE EXPORT S.A.C.	Tambogrande	Funcionamiento
	5	BOUNTY FRESH PERU S.R.L. (AGROPERÚ)	Cieneguilla	Funcionamiento
	6	CONSORCIO DEL AGRO S.A.	Tambogrande	Funcionamiento
	7	EMPACADORA DE FRUTOS TROPICALES S.A.C.	Cieneguilla	Funcionamiento
	8	NORFRUT	Piura	Paralizada
ANCASH	1	SECHIN PAC SAC	Casma	Funcionamiento

Fuente: SENASA (2005)

En el caso del tratamiento por frío, muchas frutas tropicales son altamente susceptibles al daño por frío y las bajas temperaturas necesarias para eliminar las moscas de la fruta podrían causar serios problemas (Thomas, 1986).

En 1984 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) decidió la inmediata suspensión de emergencia del dibromuro de etileno como fumigante para productos agrícolas, debido a que en pruebas de laboratorio presentaron que el DBE es una sustancia cancerígena y mutagénica, como contaminante de suelos y suministros de agua. (Thomas, 1986). La prohibición es existente en la Unión Europea y los Estados Unidos.

La próxima prohibición del bromuro de metilo contemplada entre los años 2000-2010, por considerarse una sustancia contaminante y dañina de la capa de ozono, por la misma agencia, han hecho imperativa la búsqueda de alternativas técnicas económicamente factibles para dichos fumigantes y considera el uso de la irradiación gamma como alternativa de tratamiento de cuarentena (OIEA, 1998).

La irradiación gamma como tratamiento de cuarentena asume gran significancia, debido a que los demás tratamientos alternativos pueden presentar daños a la calidad de los frutos.

Moy y col. (1993) menciona que las ventajas de la irradiación gamma sobre los demás procesos de cuarentena son:

- Es continuo y más eficiente proceso,
- Asegura una completa desinfestación,
- No deja radioactividad residual en el fruto, mientras que el DBE deja residuo químico,
- Retarda la maduración en algunos frutos, mientras que el tratamiento por fumigación y vapor caliente tienden a acelerar la maduración.

#### **2.5.1 DESINFESTACIÓN DE MOSCAS DE LA FRUTA.**

Las investigaciones sobre el uso de la irradiación gamma como un posible tratamiento de cuarentena fue iniciado en el laboratorio de moscas de la fruta del departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA) hace tres décadas atrás.

Paul Thomas (1986) hizo una recopilación de los principales trabajos realizados hasta esa fecha sobre las moscas de la fruta, tanto los llevados a cabo por los investigadores del USDA como en otros países, llegando a obtener todos buenos resultados y en su mayoría no registraron efectos adversos sobre la calidad de los frutos a las dosis de radiación tratados. Sus estudios fueron hechos en diferentes especies de moscas de la fruta y distintos estados biológicos, pero en general recomiendan de 0,10 a 0,25 kGy para inhibir emergencia de adultos de larvas tratadas a esas dosis.

Moy y col. (1993) estudió varios aspectos de la desinfestación de frutos tropicales por irradiación, entre ellos la tolerancia a diferentes dosis de irradiación gamma, en papayas, mangos, plátanos, determinando la dosis de 100 rad (1,00 kGy) como la mas adecuada.

Menciona también que las cualidades del mango de la variedad “Haden”, irradiadas a 150 Krad (1,5 kGy) fueron conservadas.

Toledo (1991) al irradiar frutos de mango y chicozapote infestados con larvas del tercer estadio del género **Anastrepha** determinó dosis cercanas a 0,16 kGy para inhibir la emergencia de moscas adultas.

Otros autores han investigado también los efectos de la radiación gamma sobre la calidad del fruto, llegando a obtener muy buenos resultados hasta dosis de 1,00 kGy.

Debido a estos y muchos otros estudios la irradiación de alimentos está siendo considerada como una alternativa viable de tratamiento cuarentenario y de poscosecha, por lo que se ha recibido el reconocimiento de diversos organismos internacionales, entre éstos:

La Agencia de alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA), en 1985 autorizó el uso de la irradiación para frutas y vegetales frescos hasta una dosis de 1,00 kGy. En 1989 la agencia de Inspección de Plantas y Animales de los Estados Unidos (APHIS) aprobó el uso de la irradiación como tratamiento cuarentenario de papayas en el estado de Hawai y su comercialización a los demás países de la Unión Americana, Guyanas, Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Actualmente APHIS está trabajando con dos propuestas de reglamentos: -una es irradiar papaya, carambola y litchi y comercializarlas a los demás estados de los Estados Unidos, incrementándose para ello el nivel de dosis de irradiación y el número de frutas, y la otra propuesta, es en forma general la aplicación de la irradiación para problemas fitosanitarios; ambas publicadas en 1996. La Organización para la Protección de Plantas y Animales (NAPPO), acepta la irradiación para tratamiento fitosanitario, en diferentes productos siempre y cuando el país tenga el tratamiento validado. (OIEA, 1998).

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) ha expresado su intención de aprobar el uso de la irradiación a una dosis

mínima de 0,25 kGy para controlar todo tipo de moscas de la fruta en toda clase de frutas y hortalizas frescas. (Mollins, 1997).

El Organismo Internacional de Energía Atómica (1998) considera a la irradiación como una alternativa viable de tratamiento cuarentenario, diversos estudios han demostrado que a dosis relativamente bajas entre 0,15 y 1,00 kGy se logra inhibir el desarrollo biológico de insectos y evitar por consiguiente su reproducción, siguiendo a la vez en algunos frutos retardar el proceso de maduración.

### **III. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN**

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro de Producción de Moscas de la Fruta Estériles del Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA), situado en el Distrito de La Molina, y el laboratorio de Irradiación de alimentos del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

#### **3.2 MATERIALES**

##### **3.2.1 MATERIA PRIMA Y MATERIAL BIOLÓGICO.**

- 1000 kg de mango variedad Haden.
- Colonias de Moscas del Mediterráneo "*Ceratitis capitata*".

##### **3.2.2 MATERIALES.**

- Placas petri de vidrio y de plástico.
- Pipetas de 1,5; 10; 20 ml.
- Probetas de 100 ml.
- Vasos de precipitación de 50, 100, 250 ml.
- bureta graduada de 50 ml
- Termómetros.
- Baguetas.
- Espátula.
- Bandejas de plástico 40 x 30 cm.
- Aserrín.
- Vasos y platos descartables.
- Cuchillos de acero inoxidable.
- Plumones indelebles.

- Lápices de cera.
- Malla de nylon.
- Jaulas de infestación.
- Jaulas de emergencia.
- Gabinetes de larvas.
- Tamices.
- Cajas de exportación de mangos.
- Cajas de madera.

### **3.2.3 DIETA PARA COLONIA DE MOSCAS.**

- Azúcar.
- Proteína hidrolizada.
- Gelcarín para proporcionar agua a las moscas.

### **3.2.4 REACTIVOS QUÍMICOS.**

- Ácido sulfúrico 0,8 N.
- Ácido clorhídrico 0,03 N y 0,003 N.
- Agua destilada y tridestilada.
- Alcohol al 4%.
- Cloruro de sodio 1,8 M.
- Dicromato de potasio.
- Permanganato de potasio.
- Fenolftaleína.

### **3.3 EQUIPOS.**

- Equipo de irradiación gammacell 220, con fuente de cobalto 60.
- Irradiador panorámico Gammabeam 127 tipo II de Co-60.
- Espectrofotómetro UV/VIS, Perkin Elmer.
- Balanza analítica digital, Sartorius.
- Potenciómetro digital, cole Parmer Modelo 05669-20.
- Refrigerador, Imperor.
- Refractómetro, Atago Modelo 500.

### 3.4 METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

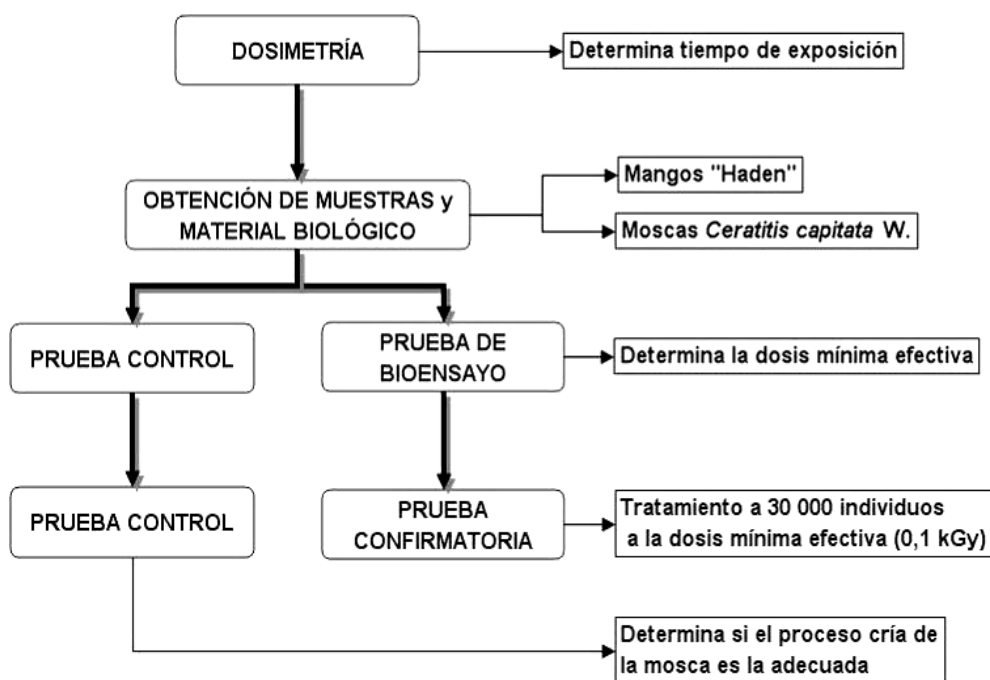


Diagrama de Flujo Nº 1. Metodología de Investigación

#### 3.4.1 DOSIMETRÍA.

Previo al experimento se realizó la dosimetría de sulfato ferroso (FRICKE), con un lote de mangos adquiridos explícitamente para este fin. (Anexo 1).

Esta dosimetría se dividió en dos partes.

**a) Determinación de dosis al aire.** Permite conocer la eficiencia de los dosímetros (ámpula), que se utilizarán en dosimetría del producto, realizada en las instalaciones de IPEN, con el equipo Gammacell 220.

**b) Dosimetría del producto.** Permite determinar el tiempo de exposición del mango, para que este reciba la dosis deseada, considerando la cantidad por lote a irradiar, además permitió obtener la dosis mínima, máxima y la uniformidad de dosis (UD) para el mango.

Esta operación se realizó en las instalaciones del Centro de Producción de Moscas de la Fruta Estériles del SENASA, utilizando el equipo de irradiación "Gammabeau 127".

### 3.4.2 OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS Y MATERIAL BIOLÓGICO.

#### a) Materia prima.

Se utilizaron mangos variedad “Haden”, adquiridos en el Mercado Mayorista de Frutas N° 2 de Lima, proveniente de la ciudad de Chulucanas, Piura.

Los mangos fueron trasladados al Centro de Producción de Moscas de la Fruta Estériles del SENASA. Para la realización de la presente investigación se requirió un total de 1000 kilos de mangos.

#### b) Material biológico.

Las moscas del Mediterráneo (***Ceratitis capitata Wiedemann***) se obtuvieron de la cría masal del Centro de Producción de Moscas de la Fruta Estériles del SENASA.

Se utilizaron jaulas de infestación con medidas de 60 x 200 x 35 cm, en las que se colocaron 500 ml de pupas 2 días antes de la emergencia.

La relación de sexo macho: hembra de las pupas es de 1:1, alimentadas con una mezcla de azúcar: proteína en relación 3:1 y gelcarín como fuente de agua.

### 3.4.3 PRUEBA DE BIOENSAYO.

#### a) Selección de frutas.

Se seleccionaron mangos en estado de madurez verde-sazón, la cáscara de los mangos tuvieron una apariencia verde con chapa roja, de consistencia firme, en perfecto estado de desarrollo fisiológico. Los mangos utilizados debían estar libres de infestación, sin magulladuras y pudrición, con un peso promedio de 300 a 400 g por mango.



#### **b) Infestación de frutos.**

Se realizó en condiciones de laboratorio, mediante el método de oviposición natural (Toledo, 1991).

Se toma un lote de frutas y se distribuyen en jaulas de 60 x 200 x 35 cm, cada jaula debe contener un promedio de 28 000 moscas de ***Ceratitis capitata***, machos y hembras en relación 1:1, alimentadas con una mezcla de azúcar: proteína (3:1) y un suministro de agua o gelatina.

Se requiere un grado de infestación de 30 a 40 larvas por fruto, los mangos deben de tener un rango de pH de 3,7 a 4,0, pues en ese estado son más susceptibles a la infestación de la mosca y estas pueden depositar sus huevos en el fruto.

#### **c) Desarrollo larvario.**

Al término de la infestación, los frutos se retiran de las jaulas y son colocadas en bandejas de plástico de 60 x 50 x 4 cm, con un sustrato de pupación (aserrín) para la recuperación larval, las que deben mantenerse en condiciones ambientales de temperatura  $26^{\circ}\text{C} \pm 2$  y una humedad relativa de 70 a 75 % con la finalidad de que se realice el desarrollo larvario.

Éstas se mantuvieron en los gabinetes de madera cubiertos con tela mosquitera para evitar posible reinfestación.

#### **d) Proceso de irradiación.**

Cuando las larvas de los mangos infestados se encontraron en el tercer estadio, estado biológico más radioresistente se procedió a la irradiación de la fruta (Toledo, 1991).

El proceso de irradiación se realizó a los 8 a 9 días después de la infestación, previa disección de un mango para verificar el estadio de las larvas, una vez determinado el estadio de las larvas los mangos se colocaron en cajas de cartón tipo exportación, simulando el empaque final de los frutos. Cada caja contenía 9

unidades de mangos, estas cajas de cartón son de tipo troquelado con bandejas con perforaciones en la parte superior y los costados para permitir la eliminación del etileno producido por el proceso de respiración de la fruta (Franciosi, 1985).

Los mangos se irradiaron en el irradiador panorámico tipo II “GAMMABEAN 127” (Nordion Internacional) del Programa Nacional de Moscas de la Fruta – SENASA.

Para la irradiación de cada lote los mangos fueron separados en dos grupos de 50 % para el control y 50% para la prueba de bioensayo.

1ª Dosis: 0,15 kGy ----- Tiempo de Exposición: 53.05 min.

2ª Dosis: 0,12 kGy ----- Tiempo de Exposición: 42.44 min.

3ª Dosis: 0,10 kGy ----- Tiempo de Exposición: 35.37 min.

4ª Dosis: 0,075 kGy -----Tiempo de Exposición: 26.52 min.

#### **e) Acondicionamiento para pupación.**

Terminada la irradiación los mangos fueron colocados en bandejas de plástico con un sustrato de aserrín en la base para la pupación de las larvas que abandonan el fruto, se codifica las bandejas y se coloca en módulos de madera cubierta con tela mosquitera para evitar posible reinfestación; Este ambiente debe tener una temperatura de 24 °C y humedad relativa de 60 a 65%, área que se mantiene sin iluminación para evitar el salto de las larvas.

Lo mismo se realiza para el lote control.

#### **f) Disección.**

Los mangos se disectan para verificar si todas las larvas abandonaron el fruto, si se encuentran larvas se las retira y se les acondiciona para empupar.

#### **g) Tamizado**

Al sexto día de pupación se realiza la separación de la pupa del aserrín con la ayuda de un tamiz y se procede a la colecta de pupas.

Se mide el volumen de pupas colectadas las que con un contador automático de pupas son contadas y el resultado se llevará a una base de datos.

Esta operación se realizó para ambos lotes; control e irradiados.

#### **h) Acondicionamiento para emergencia de las moscas.**

Las pupas colectadas del lote irradiado se colocaron en jaulas pequeñas para que estas continúen su desarrollo hasta la emergencia de mosca adulta, cada jaula fue codificada para evitar confusión.

Del mismo modo se procedió para el lote control.

### **3.4.4 PRUEBA CONFIRMATORIA.**

Una vez determinada la dosis mínima efectiva se inició la prueba confirmatoria, de acuerdo al protocolo de investigación para el uso de la radiaciones ionizantes como tratamiento cuarentenario en frutas **“Reglamento cuarentenario armonizado para la irradiación de frutas” PROYECTO RLA/5/043 (ARCAL XXXIII)** - “El análisis de resultados logrados con el tratamiento de 30 000 individuos permitirá obtener datos estadísticamente confiables”.

Para esta prueba se repite el mismo procedimiento de la prueba de bioensayo, con la diferencia que los lotes se irradian a una misma dosis (dosis mínima efectiva), además de: por cada lote de fruta infestada, se divide en dos grupos, uno de 75% el cual se trata a la dosis mínima efectiva, el otro de 25% se maneja como testigo.

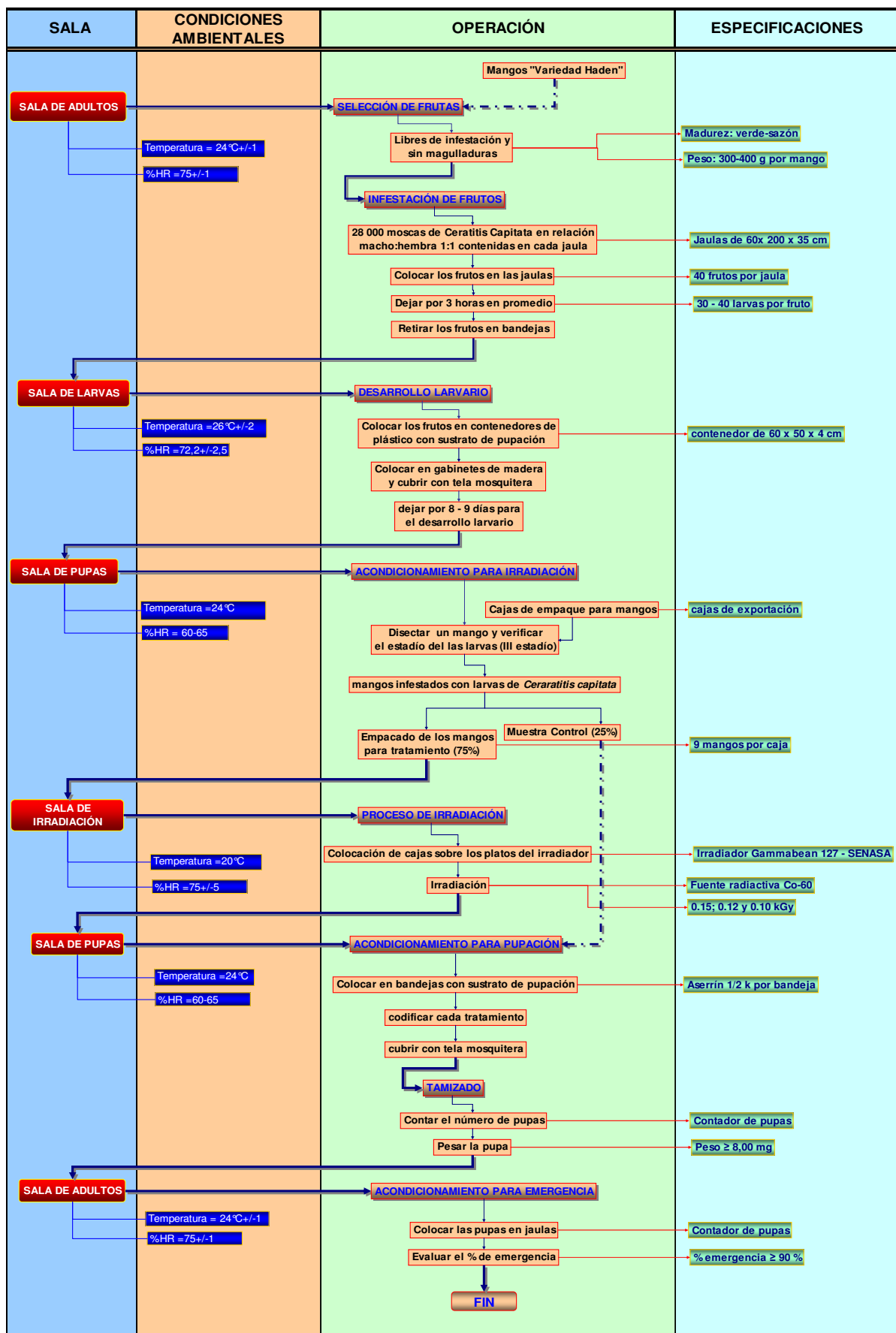


Diagrama de Flujo Nº 2. Proceso de Desarrollo de la Prueba de Bioensayo y Prueba Confirmatoria.

### **3.4.5 PRUEBAS DE CALIDAD.**

Las evaluaciones de calidad se realizaron en el laboratorio de Irradiación de Alimentos del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Para esto una vez determinada la dosis mínima efectiva, se tomó de cada lote de 100 Kg de mango se seleccionó 20 frutos no infestados (al azar) y se irradiaron a la dosis de 0,1 kGy, teniendo igual número de mangos controles sin irradiar. Los frutos se almacenaron a 22°C y los análisis se realizaron 7 días después de la irradiación, esperando que los frutos tuvieran la madurez adecuada para el consumo.

#### **3.4.5.1 EVALUACIÓN SENSORIAL.**

La evaluación sensorial estuvo a cargo de un panel de degustación semientrenado de 15 personas, conformado por personal del IPEN, los cuales eran consumidores habituales de mango. Los parámetros evaluados fueron: olor, color, sabor y textura.

Se aplicó el método de análisis Duo-Trio que emplea tres muestras codificadas, dos idénticas y una diferente, donde una de las idénticas es la muestra patrón (Ureña, D'arrigo 1999).

Se evaluó presentando al panelista primero la muestra patrón (0,0 kGy) luego las otras dos (0,0 y 0,1 kGy) debidamente codificadas para que proceda a compararlas e identifique cual de ellas es igual a la del patrón. El formato de evaluación se muestra en el anexo 3.

Para determinar si existe evidencia estadística entre la muestra patrón y la muestra irradiada, los datos obtenidos a partir de la evaluación sensorial fueron evaluados por la prueba de Chi-Cuadrada ( $X^2$ ) aplicada al Duo-Trio (Ureña, D'arrigo 1999).

#### **3.4.5.2 DETERMINACIÓN DE pH.**

La determinación de pH de la pulpa de los mangos se realizó con un potenciómetro digital “Cole Parmer” (05669-20), por cada tratamiento se tenía dos muestras y el promedio de tres medidas determinaba el pH de cada muestra. Se despulpó los mangos sobre un vaso de precipitación hasta obtener un volumen de 10 ml y luego se introducía el electrodo del potenciómetro para determinar el pH.

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron sometidos a un análisis de varianza para determinar si el tratamiento aplicado ocasiona diferencias en el pH de los mangos.

#### **3.4.5.3 DETERMINACIÓN DE ACIDEZ.**

La acidez fue determinada por el método de titulación con álcali en presencia de un reactivo indicador. Se obtenía el jugo de la pulpa de los mangos hasta un peso de 10 g, luego se diluyó con agua destilada hasta un volumen de 200 ml para obtener una solución incolora y luego se homogeneizó, se adicionó de dos a tres gotas de fenolftaleína y se procedió a la valoración con una solución de hidróxido de sodio al 0,1 N hasta obtener un viraje de color rosado tenue. Se registró el gasto de la solución de NaOH al 0,1 N y se calculó el porcentaje expresado en ácido málico.

Los resultados de esta prueba también fueron sometidos a un análisis de varianza para determinar diferencias entre los tratamientos.

#### **3.4.5.4 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES.**

El contenido de sólidos solubles totales (°Brix) fue determinado con un refractómetro de mano, con rango de 0 – 90% de °Brix. El promedio de tres medidas determinaba la concentración de °Brix de cada muestra.

### **3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL.**

El diseño experimental para la evaluación de determinación de pH, determinación de acidez titulable y determinación de sólidos solubles; se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), se usará este diseño porque es el mejor que se aplica a este trabajo de investigación, ya que este diseño es útil para trabajos de laboratorio donde la variación entre las unidades experimentales es muy pequeña. Luego se efectuará la prueba de comparaciones múltiples de Tukey.

### **Modelo Aditivo Lineal**

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

**Donde:**

$Y_{ij}$  = Una observación cualquiera

$\mu$  = Media General

$T_i$  = Efecto del i-esimo tratamiento por irradiación sobre el i-ésimo mango

$E_{ij}$  = Error

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1 CARÁCTERISTICAS INIALES DEL MANGO.**

Para el proceso de determinación de la dosis mínima efectiva a la cual no haya emergencia de la mosca mediterránea se escogieron mangos con un peso aproximado de 400 g y en estado de maduración verde sazón (pH entre 3,7 – 4,0) debido a que en este estado de madurez las moscas ovipositan sus huevos en el fruto y el pH indicado es el adecuado para la eclosión de los huevos y el desarrollo de la larva (primer estadio).

Se determinó experimentalmente el índice de madurez del mango en el estado verde sazón teniendo como resultado promedio 5,488.

### **4.2 PRUEBA DE BIOENSAYO.**

Con la finalidad de determinar la dosis mínima efectiva, se procedió a realizar la prueba de bioensayo, con irradiación gamma (Co-60) de los mangos infestados (larvas en tercer estadio) tomando como referencia bibliográfica, la dosis de 0,15 kGy, propuesta por León C. (1999).

La prueba se realizó tomando lotes de mangos infestados por el método de “oviposición natural” que fueron irradiados por etapas, es decir primer lote a 0,15 kGy, luego se analizó el resultado final, al no encontrar emergencia de mosca adulta se bajó la dosis a 0,12, y así sucesivamente, hasta encontrar emergencia de mosca adulta, entonces se tomó la dosis inmediata superior y se procedió a la prueba confirmatoria.

Para cada dosis de irradiación gamma (Co-60) que se tuvo en prueba, se trabajó con dos repeticiones.

### **Cuadro 15. Resultados de la Prueba de Bioensayo de la Dosis 1.**



	T1		T 2	
	Control	0.15 kGy	Control	0.15 kGy
Nº De Pupas Colectadas	2957	1331	1500	1054
Nº De Moscas Emergidas	2745	0	1387	0
% Emergencia	92.83	0	92.49	0

**Cuadro 16. Resultados de la Prueba de Bioensayo de la Dosis 2.**

	T 1		T 2	
	Control	0.12 kGy	Control	0.12 kGy
Nº De Pupas Colectadas	1063	2117	1981	1656
Nº De Moscas Emergidas	986	0	1834	0
% Emergencia	92.75	0	92.57	0

**Cuadro 17. Resultados de la Prueba de Bioensayo de la Dosis 3.**

	T 1		T 2	
	Control	0.10 kGy	Control	0.10 kGy
Nº De Pupas Colectadas	996	969	2277	3040
Nº De Moscas Emergidas	911	0	2110	0
% Emergencia	91.47	0	92.65	0

**Cuadro 18. Resultados de la Prueba de Bioensayo de la Dosis 4.**

	T 1		T 2	
	Control	0.075 kGy	Control	0.075 kGy
Nº De Pupas Colectadas	1953	2061	2140	2067
Nº De Moscas Emergidas	1811	0	1989	2
% Emergencia	92.73	0	92.94	0.096

**Leyenda:** T1: Tratamiento 1

## T2: Tratamiento 2

Los datos mostrados en la tabla corresponden a 60 mangos tratados por dosis de irradiación y 60 mangos controles sin tratamiento, en cada repetición.

En esta prueba se evaluaron 960 mangos para determinar la dosis mínima efectiva a la cual no haya emergencia de mosca adulta.

El número de larvas por mangos no fue uniforme, debido al método de infestación, pero en forma general se realizó un estudio de 20941 larvas para la prueba de bioensayo.

Se puede apreciar en los cuadros 15; 16 y 17 que el porcentaje de emergencia de mosca adulta para las dosis tratadas fue de 0,0%, mientras que para los controles se tuvo un porcentaje de emergencia en promedio del 92,46% lo que nos indica que las condiciones en las que se mantuvieron las larvas (condiciones ambientales y alimentación) fueron las óptimas.

En el cuadro 18 se puede apreciar que de un total de larvas testeadas a 0,075 kGy se obtuvieron dos emergencias a mosca adulta. Las moscas adultas estaban muy débiles y más pequeñas de lo normal, las que no llegaron a completar 24 horas supervivencia.

La dosis mínima efectiva a la cual no hubo emergencia de mosca adulta fue de 0,10 kGy, dosis a la cual se trabajó la prueba confirmatoria.

Para cada dosis de irradiación gamma (Co-60) que se tuvo en prueba, se trabajó con dos repeticiones.

### 4.3. PRUEBA CONFIRMATORIA.

Se estimó trabajar con más de 30 000 individuos (larvas) tratadas para obtener datos estadísticamente confiables, de acuerdo al protocolo de investigación para el uso de radiaciones ionizantes como tratamiento cuarentenario en frutas **“Reglamento cuarentenario armonizado**

**para la irradiación de frutas” PROYECTO RLA/5/043 (ARCAL XXXIII) OIEA.**

Por cada muestra de fruta infestada se seleccionó al azar el 75% y se trató a una dosis de 0,1 kGy, y el resto de fruta (25%) se manejó como testigo.

Del cuadro 190, se puede observar que la emergencia de moca adulta para la dosis de 0,10 kGy fue nula, teniendo como base que la infestación fue buena, con un porcentaje promedio de emergencia para el lote control de 92,64 %.

También del cuadro podemos decir que el resultado obtenido de 36031 pupas no emergidas nos da un dato estadísticamente confiable, lo que nos indicaría que la dosis de 0,10 kGy es una LD<sub>99</sub>.

**Cuadro 19. Porcentaje de emergencia de mosca adulta, al irradiar a 0,10 kGy con rayos gamma (Co-60), mangos infestados con larvas del tercer estadio de *Ceratitis capitata*.**

Tratamiento	Nº Pupas Colectadas		Peso Pupa (mg)	Nº Moscas Emergidas		% Emergencia	
	Control	0,1 (kGy)		Control	0,1 (kGy)	Control	0,1 (kGy)
T <sub>1</sub>	653	715	9,20	608	0	93,10	0
T <sub>2</sub>	276	2613	8,20	245	0	88,77	0
T <sub>3</sub>	3186	9336	8,87	2944	0	92,40	0
T <sub>4</sub>	1327	4212	8,64	1229	0	92,53	0
T <sub>5</sub>	183	345	8,83	169	0	92,54	0
T <sub>6</sub>	2835	4092	8,50	2629	0	92,75	0
T <sub>7</sub>	1097	3560	8,28	1017	0	92,78	0
T <sub>8</sub>	2441	5745	8,93	2265	0	92,78	0
T <sub>9</sub>	1205	2983	8,80	1118	0	92,82	0
T <sub>10</sub>	1203	1706	7,90	1120	0	93,10	0
T <sub>11</sub>	255	724	9,18	238	0	93,33	0
<b>TOTAL:</b>	14661	36031		13582			

#### 4.4 PRUEBAS DE CALIDAD.

##### 4.4.1 EVALUACIÓN SENSORIAL.

Para la evaluación sensorial se aplicó la Prueba Duo-Trio utilizando el formato de evaluación que se muestra en el anexo III.

Los resultados de la evaluación sensorial de olor de la muestra irradiada a la dosis mínima efectiva y la muestra testigo se muestran en el cuadro 20.

**Cuadro 20. Resultados de la evaluación sensorial, parámetro olor a la dosis mínima efectiva de irradiación (0,1 kGy).**

Panelistas	No irradiado P (patrón)	Irradiado (0,1 kGy)	No irradiado
3	P = No irradiado	Hay diferencia frente a P	
12	P = irradiado = No irradiado	No hay diferencia frente a P	No hay diferencia frente a P

Los resultados de la evaluación en cuanto a color se observan en el cuadro 21 de un lote de mangos irradiados a 0,1 kGy.

**Cuadro 21. Resultados de la evaluación sensorial, parámetro color a la dosis mínima efectiva de irradiación (0,1 kGy).**

Panelistas	No irradiado P (patrón)	Irradiado (0,1 kGy)	No irradiado
2	P = No irradiado	Hay diferencia frente a P	
13	P = irradiado = No irradiado	No hay diferencia frente a P	No hay diferencia frente a P

En el cuadro 22 se muestra los resultados de la evaluación sensorial del parámetro sabor.

**Cuadro 22. Resultados de la evaluación sensorial, parámetro sabor a la dosis mínima efectiva de irradiación (0,1 kGy).**

Panelistas	No irradiado P (patrón)	Irradiado (0,1 kGy)	No irradiado
4	P = No irradiado	Hay diferencia frente a P	
11	P = irradiado = No irradiado	No hay diferencia frente a P	No hay diferencia frente a P

Los resultados obtenidos de la evolución sensorial del parámetro textura se observan en el cuadro 23.

**Cuadro 23. Resultados de la evaluación sensorial, parámetro textura a la dosis mínima efectiva de irradiación (0,1 kGy).**

Panelistas	No irradiado P (patrón)	Irradiado (0,1 kGy)	No irradiado
3	P = No irradiado	Hay diferencia frente a P	
12	P = irradiado = No irradiado	No hay diferencia frente a P	No hay diferencia frente a P

Los resultados de los parámetros de olor, color, sabor y textura se evaluaron con el estadístico de Chi-Cuadrada ( $X^2$ ) aplicada al Duo-Trio, el cual nos demostró que no existe diferencia del lote tratado a la dosis mínima efectiva (0,1 kGy) frente al lote testigo (0,0 kGy), tal como se muestra en el anexo 3.

La no existencia de diferencia significativa se debe a que la dosis de irradiación es muy baja y si existiese alguna diferencia podría deberse al estado de madurez de los mangos ya que esta varía de fruto a fruto.

#### 4.4.2 DETERMINACIÓN DE pH.

Las variaciones de pH en los mangos irradiados y la muestra testigo a diferentes dosis de irradiación se muestran en el cuadro 24.

**Cuadro 24. Resultados de determinación de pH a diferentes dosis de irradiación.**

Repetición	Dosis (kGy)			
	Testigo	0,15	0,12	0,10
1	5,09	5,20	4,95	5,47
2	5,01	5,80	5,67	5,60
3	5,42	4,82	5,78	5,56
4	5,22	5,00	5,34	4,66
5	4,95	5,15	4,90	5,92

Los datos reportados en el cuadro 24, muestran valores de pH muy próximos para los mangos irradiados a diferentes dosis y los mangos

testigo, no registrándose una variación muy notoria entre las muestras de cada tratamiento, por lo que no puede atribuirse al efecto de la irradiación sobre el pH de la pulpa de los mangos.

#### 4.4.2.1 Análisis Estadístico para determinación de pH.

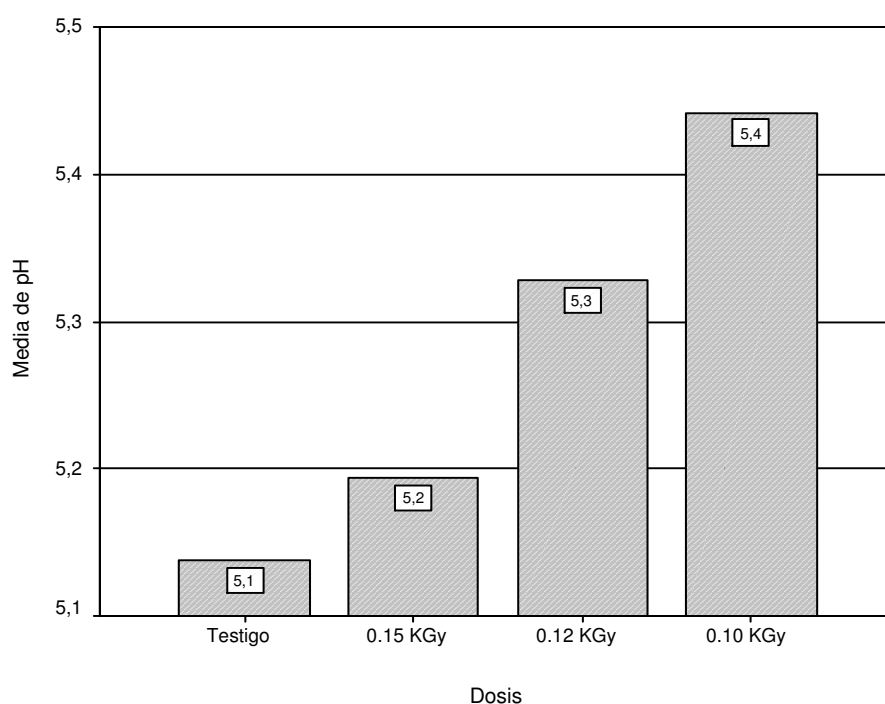
El análisis estadístico se realizó Diseño Completamente al Azar (DCA), de acuerdo a la prueba de Tukey no hay diferencias estadísticas entre las diferentes dosis de irradiación como se puede apreciar en el cuadro 25, el promedio más alto es de 0,10 kGy con 5,4420 como se puede apreciar en la figura 22.

**Cuadro 25. Prueba de Tukey al 5% en Determinación de pH.**

Tukey B<sup>a</sup>

Estadísticos		Dosis			
		Testigo	0.15 KGy	0.12 KGy	0.10 KGy
N		5	5	5	5
Subconjunto	1	5.1380	5.1940	5.3280	5.4420

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.



**Figura 22. Determinación de pH entre la media y dosis de irradiación en mangos Haden.**

El efecto de la irradiación sobre la acidez de la mayoría de variedades de mango es casi nulo, los cambios se deben mayormente al proceso de maduración, por lo que las variaciones de pH obtenidos en la presente investigación se consideran aceptables.

#### 4.4.3 DETERMINACIÓN DE ACIDEZ TITULABLE.

El porcentaje de acidez titulable del mango es expresado en ácido málico, en el cuadro 26 se muestran los resultados a diferentes dosis de irradiación.

**Cuadro 26. Resultados de determinación de acidez a diferentes dosis de irradiación.**

Repetición	Dosis (kGy)			
	Testigo	0,15	0,12	0,10
1	0.55	0.76	0.9	0.95
2	0.80	0.86	0.87	0.67
3	0.53	0.69	0.72	0.8
4	0.58	0.88	0.68	0.61
5	0.51	0.98	0.84	0.59

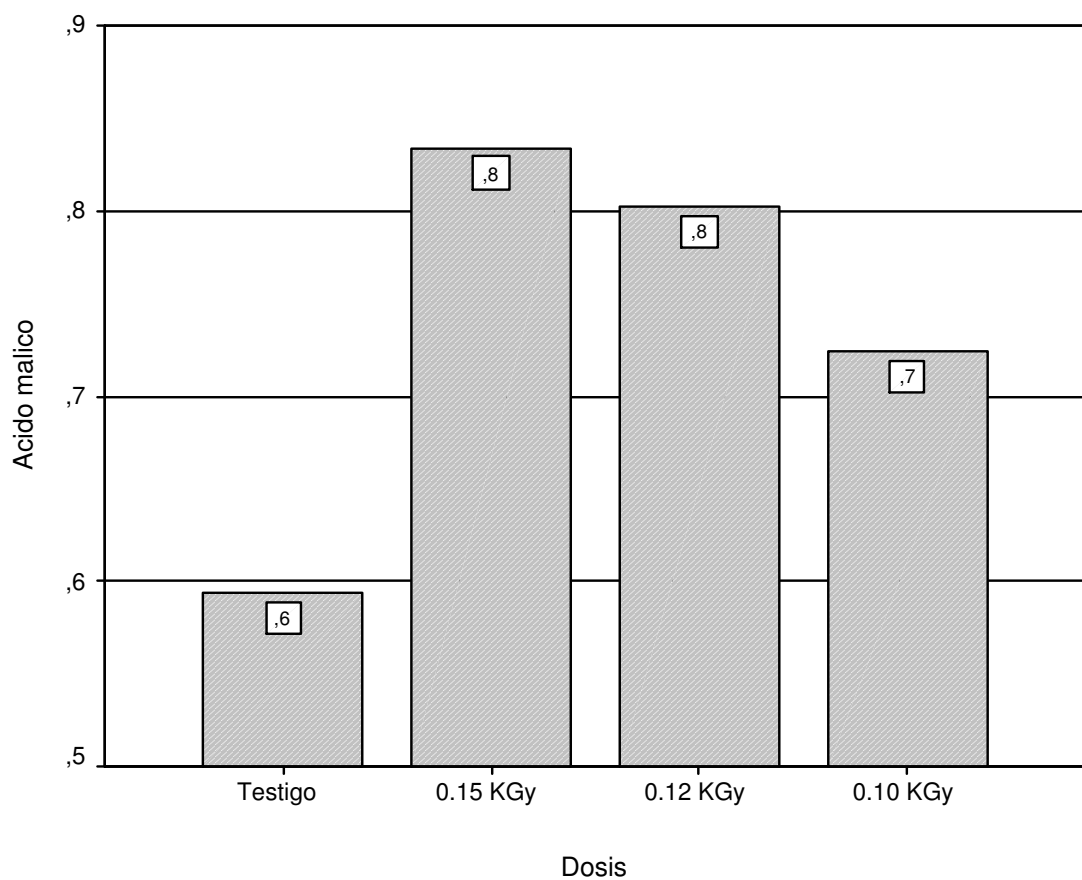
De los resultados obtenidos, se observa un ligero incremento en los mangos irradiados respecto del lote testigo, aumentando paralelamente con el incremento de la dosis de irradiación.

##### 4.4.3.1 Análisis estadístico para determinación de acidez titulable.

El análisis estadístico que se realizó es el diseño completamente al azar (DCA), de acuerdo a la prueba de Tukey no hay diferencias estadísticas entre las diferentes dosis de irradiación como se puede apreciar en el cuadro 27. Pero hay incremento referente al testigo.

**Cuadro 27. Prueba de Tukey al 5% en Determinación de Acidéz Titulable.**

Estadísticos	Dosis			
	Testigo	0.10 KGy	0.12 KGy	0.15 KGy
N	5	5	5	5
Subconjunto para alfa = .05	.5940	.7240	.8020	
		.7240	.8020	.8340



**Figura 23. Promedio de dosis de irradiación de los mangos Haden con acidez titulable.**

#### **4.4.4 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES.**

El contenido de los mangos se puede reflejar en porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix) cuyos valores se presentan en el cuadro 28.



**Cuadro 28. Resultados de determinación de sólidos solubles a diferentes dosis de irradiación.**

Repetición	Dosis (kGy)			
	Testigo	0,15	0,12	0,10
1	11	13	12	12
2	12	13	12	12
3	10	13	11	12
4	14	14	13	13
5	14	15	13	14

De los resultados obtenidos se observa que el contenido de sólidos solubles de los mangos irradiados y los controles no varía considerablemente.

#### 4.4.4.1 Análisis estadístico para determinación de sólidos solubles.

El análisis estadístico que se aplicó fue el diseño completamente al azar (DCA), de acuerdo a la prueba de Tukey (se utilizó  $\sqrt{x+0,5}$  según Hallman Guy 1999) no hay diferencias estadísticas entre las diferentes dosis de irradiación como se puede apreciar en el cuadro 29. Aunque hay incremento referente al testigo.

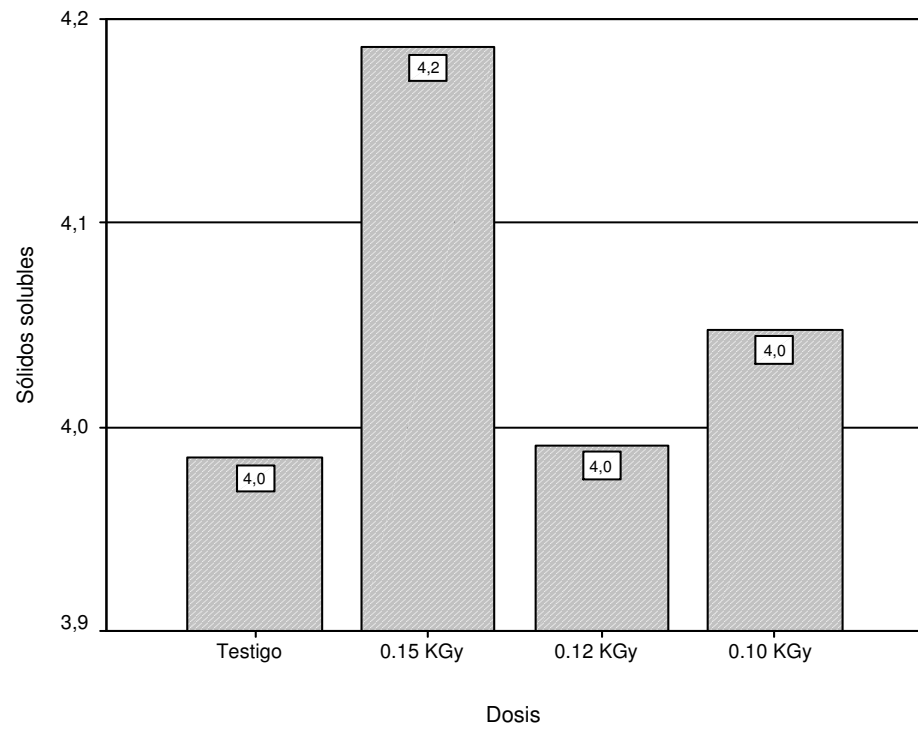
**Cuadro 29. Prueba de Tukey al 5% en Determinación de Sólidos Solubles**

Tukey B <sup>a</sup>

	Dosis			
	Testigo	0.12 KGy	0.10 KGy	0.15 KGy
N	5	5	5	5
Subconjunto 1	12.20	12.12	12.60	13.16

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.



**Figura 24. Promedio de dosis de irradiación de los mangos Haden comparando con sólidos solubles.**

## V. DISCUSIÓN

### 5.1 EMERGENCIA DE ADULTOS.

No se ha encontrado referencias bibliográficas de estudios realizados para determinar dosis de irradiación para eliminación de moscas de la fruta, debido a esta ausencia de información, Guy J. Hallman (1999) en "Ionizing radiation quarantine treatments against tephritid fruit flies", recopila resultados de estudios realizados por diferentes investigadores no publicados, como: Mansour y Franz (1996) encontraron que 40 Gy aplicados a larvas del tercer estadio no previenen la pupación aunque no emergieron a adultos.

Raga 1990-1996, crió larvas en dieta y luego las puso en mangos, naranjas y pomelo para ser irradiados a dosis de 30 – 40 Gy (1.8 gy/min) no emergieron larvas como adultos, mientras que el 92 – 98% del control lo hicieron, la crianza de larvas en dieta para la inserción en la fruta antes de ser irradiación fue simulando las condiciones de campo y la validez de esta técnica debería ser verificada antes de ser usada para desarrollar un tratamiento de cuarentena.

Artur y col. 1993, también encontró que 40 Gy aplicados a mangos infestados con larvas de 7 días de edad previene la emergencia de adultos. La emergencia de adultos de tercer estadio irradiados en un lote de melocotón, fue 83% para el control, 5 % a 25 Gy y 0% mayor igual 50 Gy; los porcentajes están basados en la formación de pupa (un total de 90 en el control), mientras que el número de larvas no se reportaron. A 0,16 Gy/s, la emergencia de adultos basado en un estimado de 45 larvas totales por dosis, en el mismo tipo de experimento fue: 73% para el control, 4 % a 25 Gy, y 0% mayor igual a 50 Gy.

5 de 106100 larvas del tercer estadio en mangos irradiados con 150 Gy (0,23 Gy/s) sobrevivieron al estado adulto en México (Bustos y col. 1992). Sin embargo todos los 5 sobrevivientes ocurrieron dentro de los primeros 5300 larvas testeadas (prueba de laboratorio); no ocurrió ninguno en el resto de las mas de 100000 larvas irradiadas (pueba confirmatoria) estos resultados indican que las dos pruebas pueden haber siendo manejadas de forma diferente con la prueba de laboratorio favoreciendo la supervivencia. También, la data de la dosis respuesta de la prueba (prueba de laboratorio) mostró que el nivel de emergencia de adultos permaneció estable entre 0.09–0.16% de 80 a 150 Gy declinando gradualmente conforme se incrementa la dosis. Este tipo de relación entre la dosis y la respuesta es indicativo de una población mixta donde muchos de los individuos son significativamente más tolerantes a la irradiación que el resto.

Mansour y Franz (1996) reportaron que no emergieron adultos de más de 100000 larvas del tercer estadio en Austria irradiadas al aire con 40 Gy (0,07 Gy/s). Las larvas de la mosca de la fruta irradiadas en aire pueden ser menos tolerantes que aquellas irradiadas en frutas debido a los niveles bajos de oxigeno dentro de las frutas y posiblemente otros factores.

Todos estos datos son muy cercanos con los resultados obtenidos en esta investigación ya que la dosis mínima efectiva encontrada fue de 100 Gy con un total de 4 0040 larvas testadas.

**Cuadro 30. N° de moscas emergidas a diferentes dosis**

	DOSIS 1		DOSIS 2		DOSIS 3	
	Control	0.15 kGy	Control	0.12 kGy	Control	0.10 kGy
Nº de pupas colectadas	4457	2385	3044	3773	17934	40040
Nº de moscas emergidas	4128	0	2820	0	16609	0
% emergencia	92.61	0	92.64	0	92.61	0

Un amplio rango de reportes de reacciones de las larvas del tercer estadio de la mosca mediterránea a la irradiación, que pueden ser interpretadas como seguridad cuarentenaria cuando basadas en la prevención de la emergencia de mosca adulta a nivel de cercanos del Probit 9 pueden ser logradas con dosis tan bajas como 40 Gy y a dosis tan altas como 1000 Gy, hacen difícil el sugerir una dosis absorbida mínima universal para el uso contra esta plaga cuarentenaria. Si los dos estudios que reportan emergencia de adultos de larvas del tercer estadio tratadas con  $\geq 400$  Gy son descartadas, los estudios que quedan caen dentro de dos grupos:

- a. aquellos que producen una dosis de seguridad cuarentenaria de mayor igual 200 Gy, y
- b. aquellos que implican una dosis de menor igual a 100 Gy.

**Cuadro 31. Dosis especulativa para lograr seguridad cuarentenaria de larvas del tercer estadio de moscas mediterránea de acuerdo a varios estudios.**

Referencia	País	Fruta	Dosis Gy
Seo et al. 1973	USA (Hawaii)	papaya	~225
Fesüs et al. 1981	Hungría	naranja	>200
Potenza et al. 1989	Brasil	mango	~80
Raga 1990	Brasil	mango	~80
Bustos et al. 1992	México	mango	~200
Arthur et al. 1993 a y b	Brasil	melocotón	~80
Raga 1996	Brasil	toronja	~70
Adamo et al. 1996	Italia	naranja	~200
Mansour y Franz 1996	Austria	melocotón naranja	~95

Fuente: Hallman Guy J. (1999).

## **5.2 PRUEBAS DE CALIDAD.**

### **5.2.1 EVALUACIÓN SENSORIAL.**

Los resultados de la evaluación sensorial, citados en el capítulo anterior, determinaron que no existe diferencia significativa entre el color, olor, sabor y textura de la pulpa de los mangos irradiados a 0,15; 0,12 y 0,1 kGy.

Sin embargo, Moy y col. (1993) reporta que mangos Haden pueden tolerar dosis de 100 a 150 krad (1,00 a 1,50 kGy) sin detectar diferencias en la cualidades organolépticas.

Estudios realizados por Thomas (1986) determinaron que la irradiación a dosis de 25 a 100 krad (0,25 a 1,00 kGy) no daño la pulpa de mangos Haden a ningún estado de madurez, para lo cual evaluó las características sensoriales y sus propiedades físicas y químicas.

Quispe (1998) y Alama (1989), coinciden en afirmar que no existen diferencias significativas entre mangos Haden irradiados hasta dosis de 0,75 kGy y mangos controles sin irradiar, en cuanto a sus características organolépticas.

Lacroix y col. (1992) concluye también que la irradiación gamma de mangos variedad Keitt, a un promedio de dosis de 0,75 kGy, no tuvo efecto adverso sobre la evaluación sensorial de la pulpa y sobre sus características físicas, luego de 15 días de almacenamiento a 20°C.

Cada fruto exhibe un perfil sensorial característico, ocasionado por la proporción de sus componentes de echo esta diferencia se encuentra aún dentro de una misma variedad de producto, ya que se pueden sintetizar los mismos componentes pero en distintas concentraciones (Badui, 1994), por lo que en las pruebas realizadas para determinar si la calidad del fruto es afectada por el tratamiento de irradiación se obtienen valores variables, que no necesariamente pueden ser ocasionados por las dosis de radiación aplicadas.

### **5.2.2 DETERMINACIÓN DE pH.**

El efecto de la irradiación sobre la acidez de la mayoría de variedades de mango es casi nulo, los cambios se deben mayormente al proceso de maduración, por lo que las variaciones de pH obtenidos en la presente investigación se consideran aceptables.

Los valores obtenidos de pH se encuentran entre 5,13 y 5,44. Quispe (1988), menciona que el rango de pH óptimo del mango es de 4,7 en función de la variedad, suelo, etc. Los resultados en esta investigación no se encuentran dentro del valor mencionado; además Quispe (1988) obtiene valores de pH comprendidos entre 4,08 y 4,45 en mangos irradiados con dosis hasta de 0,75 kGy y mangos controles sin irradiar, almacenados en refrigeración, determinando que no hay variación debida al tratamiento de irradiación.

Pero en la investigación que realizamos el valor del pH del control y los tratados con irradiación no varían significativamente.

Por otro lado Tello (1997) obtiene valores de pH para mangos Haden en el rango de 3,89 a 4,74 en frutos frescos sin ningún tratamiento de conservación, cuya diferencia sólo la atribuye a las diferencias de floración de cada fruto, características exclusivamente botánicas, es decir los valores de pH pueden variar de un fruto a otro aún sin aplicar tratamientos de radiación.

### **5.2.3 DETERMINACIÓN DE ACIDEZ TITULABLE.**

Cagnon y col. (1993), determina que los porcentajes de acidez titulable de mangos variedad Thai controles e irradiados a 0,56 kGy y 0,70 kGy, no son significativamente diferentes estadísticamente (0,05), los valores encontrados en esta investigación están dentro de estos valores mencionados.

Quispe (1988) concluye que no hay variación en los porcentajes de acidez de mangos Haden irradiados hasta dosis de 0,75 kGy, pero almacenados a 10°C de temperatura.

Las variaciones de los porcentajes de acidez titulable observados en distintas repeticiones de este trabajo son aceptables, ya que Tello (1997) también obtiene estas variaciones sin ningún tratamiento de post cosecha, lo cual hace suponer que el tratamiento de irradiación no determina estas diferencias.

#### **5.2.4 CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES.**

Estudios realizados por Lacroix y col. (1992) determinan que durante el almacenamiento de mangos sin irradiar y mangos irradiados de 0,64 a 0,92 kGy, a 20°C, el tratamiento de irradiación no tuvo efecto significativo en el contenido de sólidos solubles; sin embargo el mismo autor en investigación posterior, determina que el nivel de sólidos solubles totales en mangos irradiados a una dosis promedio de 0,75 kGy, fue significativamente mas alto que el control, teniendo esta diferencia efecto favorable en la evaluación del sabor de la pulpa, en la que la pulpa de los mangos irradiados fue considerada de mayor aceptación por los panelistas.

El contenido de sólidos solubles totales en esta investigación se encuentran dentro del rango de 10 a 15 °Brix, rango en cual los mangos de la variedad Haden se encuentran al estado de madurez de consumo.

Parece ser que en la mayoría de los casos los mangos irradiados hasta dosis 0,75 kGy no presentan diferencias en las características evaluadas, sin embargo, Bustos (1987), demuestra que la calidad del mango no es afectada significativamente con tratamientos hasta de 1,00 kGy, para lo cual evaluó los parámetros de sólidos solubles, acidez, pH y vitamina C.

Cada fruto exhibe un perfil sensorial característico, ocasionado por la proporción de sus componentes de echo esta diferencia se encuentra aún dentro de una misma variedad de producto, ya que se pueden sintetizar los mismos componentes pero en distintas concentraciones (Badui, 1994), por lo que en las pruebas realizadas para determinar si la calidad del fruto es afectada por el tratamiento de irradiación se



obtienen valores variables, que no necesariamente pueden ser ocasionados por las dosis de radiación aplicadas.

Debido a las variables de peso, sólidos solubles totales ( $^{\circ}$ Brix) y acidez, son las que mejor aplican el crecimiento, desarrollo y maduración de los frutos de mango (Tello, 1997) y habiendo determinado que los valores de pH, acidez titulable y sólidos solubles totales, obtenidos en esta investigación no presentan diferencias significativas estadísticamente entre los tratamientos evaluados, se puede determinar que la dosis de radiación gamma, aplicadas en la prueba de desinfección de mangos no afectan la calidad de la fruta significativamente.

## VI. CONCLUSIONES.

1. La irradiación de mangos frescos como tratamiento de cuarentena es una alternativa viable, ya que la dosis empleada está por debajo de 1,0 kGy, dosis a la cual los cambios organolépticos no son perceptibles. Este tratamiento se realiza en el empaque final y no hay pérdida de componentes termolábiles, así como la cera natural que poseen las frutas frescas.
2. Los valores hallados en las pruebas de Bioensayo con irradiación gamma (Co-60) en mangos infestados con larvas en tercer estadio cuya dosis utilizada fue de 0,10 kGy, está por debajo de las recomendadas para causar mortandad larvaria, esta dosis previene la emergencia de moscas adulta de ***Ceratitis capitata* Wiedemann**.
3. La determinación de pH, acidez titulable y sólidos solubles totales (°Brix) de los mangos irradiados, no muestra significación en la prueba de Tukey al 5%, esto quiere decir que a diferentes dosis de irradiación no hay diferencia significativa. En lo referente a la evaluación sensorial con las pruebas de olor, sabor, color y textura en mangos Haden, se pudo apreciar múltiples respuestas pero por lo general no encontraron diferencia entre el mango irradiado y mango no irradiado, la mayoría de personas encuestadas menciono que los mangos presentados son similares entre sí.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Montoya Edmundo. Física Nuclear. Lima; 1997.
2. Narvaiz Patricia. Lo Último en Nutrición. [monografía en Internet]. Buenos Aires; 2003 [acceso 11 de enero del 2005]. Disponible en: <http://www.nutrinfo.com.ar/pagina/info/irrad0.html>.
3. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Irradiación de Alimentos. Lima; 1999.
4. Muñoz B, Sánchez V, Uzcátegui A, Vaca F. Preservación de alimentos por irradiación. Editor: Escuela Politécnica Nacional, Quito; 1985.
5. World Health Organization (WHO). Food irradiation. A technique for preserving and improving the safety of food. Geneva-Switzerland; 1988.
6. Instituto Peruano de Energía Nuclear. División de Desarrollo Tecnológico. Curso de conservación de alimentos por irradiación gamma (Tecnología Pico-onda). Lima; 1988.
7. Nordion Internacional INC. Gammabeam 127. Manual del Operador. Canadá; 1996.
8. Gálvez Magdalena. Irradiación de Alimentos [monografía en Internet]. Buenos Aires; 2004 [acceso 11 de enero del 2005]; Disponible en: <http://www.nutrinfo.com.ar/pagina/info/irrad01.html>
9. Metta y Jonson. La Irradiación de Alimentos. Sao Paulo, 1999. p 14-18.
10. Read y col. Efectos de la Irradiación sobre los Macronutrientes de los Alimentos. Brasilia; 2001. p 32.
11. Toledo A, Enkerlin H, Bustos M. Irradiación Gamma (Co-60) en frutas como tratamiento cuarentenario. En: VI curso internacional sobre moscas de la fruta. Programa Moscamed. Chiapas; 1991. p 77-85.

12. Servicio Nacional de Sanidad Agraria. Manual de Irradiación de Moscas de la Fruta ***Ceratitis capitata***. Lima: Ministerio de Agricultura 2003.
13. Franciosi R. Manual sobre el cultivo de mango en el Perú. Lima; 1985. p 73.
14. Tello P. M. Determinación del crecimiento e índice de madurez en frutos de mangos Haden. [Tesis] Lima: Universidad Nacional Agraria de La Molina; 1997.
15. Quispe M. F. Estudio del efecto de la irradiación gamma en la conservación del mango, de la variedad Haden, almacenado en refrigeración. [Tesis] Lima: Universidad Nacional Agraria de La Molina. 1988.
16. Ministerio de Salud. La composición de los alimentos peruanos. Lima: Instituto de Nutrición del Perú; 1996.
17. Sabino B. V. Proyecto de pre-factibilidad para la instalación de una plantación de mango bajo riego tecnificado en el distrito de Sullana-Piura. [Tesis] Lima. Universidad Nacional Agraria de La Molina. 1997.
18. Grupo de trabajo PROTRADE- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Manual de exportación frutas tropicales y hortalizas: Mango. Frankfurt; 1992.
19. Servicio Nacional de Sanidad Agraria. Estadísticas de producción de mango. Lima: Ministerio de Agricultura; 2005.
20. Rivas S. I. Potencial del cultivo del mango en el Perú con fines de exportación. [Tesis] Lima: Universidad Nacional Agraria de La Molina; 1993.
21. "The Packer" Produce Availability & Merchandising Guide (1996).
22. Aluja M. Manejo integrado de moscas de la fruta. México D. F. Trillas; 1993.
23. Servicio Nacional de Sanidad Agraria - Programa Nacional de Moscas de la Fruta. Manual del Sistema Nacional de Detección de Moscas de la Fruta. Lima: Ministerio de Agricultura; 2001.

24. Wille. Especies de moscas de la fruta en el Perú. Lima; 1958.
25. Gamero de la Torre. Especies de moscas de la fruta en el mundo México D. F. 1961.
26. Torres y col. Incidencia de especies de moscas de la fruta en el Perú Lima: Ministerio de Agricultura; 1967.
27. Japan International Cooperation Agency (JICA). Textbook for vapor-heat disinfestations test technicians. Japan; 1986.
28. Thomas P. Radiation preservation of foods of plants origin. III. Tropical fruits: bananas, mangoes and papayas. Bombay; 1986, Foods Sciences Nutrition's. 23. 147-205.
29. Organismo Internacional de Energía Atómica. Armonización del Reglamento para el proceso de la Irradiación como Tratamiento Cuarentenario para la Exportación Comercial de Frutas frescas. Viena; 1998.
30. Moy J, Kanashiro K, Ohta A, Nagai N. Radiation disinfestations of California stone fruits by medfly-effectiveness and fruit quality. Journal of Food Science; 1993.
31. Mollins R. Irradiación de alimentos. División Mixta FAO/IAEA de técnicas nucleares la alimentación y agricultura. Viena 1997. p. 1-6.
32. Ureña M. Evaluación sensorial de los alimentos. Aplicación didáctica. Lima: Universidad Nacional Agraria de La Molina; 1999.
33. León Cristian. Tratamiento de Cuarentena con Irradiación en Mangos [Tesis] Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal; 1999
34. Hallman Guy J. Ionizing radiation quarantine treatments against tephritid fruit flies. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2301 S. International Boulevard, Weslaco, TX 78596, USA Received 7 November 1998; accepted 8 February 1999.
35. ALAMA M., Daniel. Efectos de la Irradiación en el control de ***Ceratitis capitata***, sobre frutos de mango variedad Haden. [Tesis] Lima: Universidad Ricardo Palma; 1989.

36. Lacroix M, Jobin M, Gagnon M. Irradiation and storages effects on sensorial and physical characteristics of Keiit mangoes (*Manguifera indica* L.) Quality of irradiated mangoes. Canada; 1992. Sciences des Aliments. 12 (1-3): 63-81.
37. Badui D. S. Química de Alimentos. Alhambra; 1994. p 420-421.
38. Gagnon M, Lacroix M. Effect of gamma combined with hot water dip and transportation from Thailand to Canada on biochemical and physical characteristics of Thai mangoes (Nahg Glahng Wahn variety). 1993. Great Britain, Radiation physical Chemical.
39. Bustos R., María Emilia. Aplicación de la Irradiación para la desinfestación de Mango Kent. [Tesis de Maestría] México D. F: Escuela Nacional de Fruticultura; 1987.

**ANEXOS**

## **ANEXO 1**

### **METODO ESTANDARIZADO DE DOSIMETRIA DE SULFATO FERROSO (FRICKE)**

Esta dosimetría está basado en el proceso químico de oxidación de los iones ferrosos en solución a iones férrico por efecto de la radiación ionizante el cambio de la absorbancia de una solución irradiada de sulfato ferroso amónico es medida en un espectrofotómetro a una longitud de onda característica y a una temperatura controlada.

La dosis absorbida en la solución es proporcional al cambio en la absorbancia (densidad óptica); siendo esta proporcionalidad lineal, la dosis puede ser determinada multiplicando el cambio en la absorbancia por un factor de conversión.

#### **FACTORES QUE INVOLUCRAN A LA DOSIMETRIA.**

##### **Rango de Dosis.**

La exactitud de las mediciones de las dosis no se ve afectado por variaciones de la tasa de dosis entre 0,2 y 207 Gy/s

##### **Temperatura:**

La confiabilidad del método no es significativamente influenciada por la acción de la temperatura del sistema entre 1 y 60° C.

##### **Dependencia de la Energía:**

La respuesta del sistema (definido como el cambio de absorbancia por la unidad de dosis absorbida) es dependiente del espectro de energía de la irradiación en el rango de 0,5 a 16 MeV.



**Reactivos:**

Los reactivos ser de grado analítico de alta pureza. El agua bidestilada a utilizar en este método, para lavar las ámpulas, debe estar exento de impurezas orgánicas. De preferencia se debe utilizar agua tridestilada tratada inicialmente con dicromato de potasio y posteriormente con permanganato de potasio. El agua bidestilada o tridestilada a utilizar debe almacenarse en recipientes de vidrio color ámbar y nunca de plástico.

**PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DOSIMÉTRICA.**

Las concentraciones de las soluciones son:

- Sulfato ferroso amoniacal 0,001 M
- Cloruro de sodio 0,001 M
- Ácido sulfúrico 0,8 N

Disolver 0,392 g de sulfato ferroso amoniacal ( $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2(6\text{H}_2\text{O})$ ) y 0,0585 g de cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) en 12,5 ml de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,8N (solución estándar de ácido sulfúrico) luego diluir a un litro en una fiola con la misma solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 0,8 N.

Como esta solución no es estable, esta debe ser preparada cada vez que se realice la dosimetría; en caso contrario se puede almacenar en un recipiente de vidrio oscuro en refrigeración por un periodo de hasta dos semanas.

**PROCEDIMIENTO DE DOSIMETRÍA.**

Llenar las ámpulas con la solución dosimétrica recién preparada (volumen aproximado de 5 ml), estos se colocan en el contenedor del irradiador por un periodo predeterminado. Después de pasado este tiempo se sacan las ámpulas y se lee la absorbancia ( $\text{ODi}$ ) de la solución irradiada a 305 nm. Se debe utilizar agua destiladas como blanco de referencia en el espectrofotómetro. La lectura de una muestra de solución no irradiada frente al agua destilada luego de haber iniciado la irradiación (dentro de 3 horas). Usar esta absorbancia como el valor blanco ( $\text{ODu}$ ) en el cálculo de la dosis absorbida.

**CÁLCULOS.**

La ecuación para calcular la dosis absorbida en la solución dosimétrica Fricke, está dada por:

$$D = \frac{\Delta A \cdot N_A}{\epsilon \cdot G \cdot \gamma} \times \frac{b}{dk} \quad (a)$$

Donde:

- **D** es la dosis absorbida (obtenida en Grays).
- **$\Delta A$**  es el cambio de la absorbancia a 305 nm.
- **$\Delta A = (A_1 - A_0)$** , donde  $A_1$  y  $A_0$  son las absorbancias de las soluciones irradiadas y no irradiadas respectivamente.
- **$N_A$**  es el número de Abogador ( $6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ).
- **$\gamma$**  es la densidad de la solución dosimétrica ( $1,024 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ).
- **G** en el caso de la producción de iones Fe (III) es el valor tomado por cada joule o por cada 100 eV absorbidos ( $9,74 \times 10^{17} \text{ J}^{-1}$ ). El valor G es válido para electrones y fotones de energía entre 0,5 a 16 MeV y tasa de dosis menores a  $2 \times 10^7 \text{ Gy/s}$ .
- **$\epsilon$**  es el coeficiente de extinción molar a 305 nm y 25°C ( $219,5 \text{ m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ ).
- **d** es el paso de luz óptico de la celda de cuarzo usualmente 1 cm (0,01 m).
- **k** es un factor de conversión de volumen.
- **b** es un factor de conversión de energía.

$$K = 1$$

$$b = 1 \text{ Gy (J.kg}^{-1}\text{)}^{-1} = 1$$

Sustituyendo valores en la ecuación, se obtiene una ecuación de cálculos rápido, donde  $D_{\text{Fricke}}$  representa la dosis absorbida en Gy.

$$D_{\text{Fricke}} = \frac{(6,022 \times 10^{23} \times 1) A}{10,024 \times 10^3 \times 9,74 \times 10^{17} \times 219,5 \times 0,01 \times 1} \quad (b)$$

$$D_{\text{Fricke}} = 2,75 \times 10^2 \Delta A \text{ Gy} \quad (c)$$

## CORRECCIÓN DE TEMPERATURA.

Si las mediciones de la absorbancia son llevadas a temperaturas superiores o inferiores a 25 °C entonces la corrección de la temperatura debe ser realizada para los resultados obtenidos. Como ya sabemos el coeficiente de extinción molar tiene un coeficiente de temperatura a 25°C,  $\alpha$ , el cual tiene un valor.

**$\alpha = 0,007 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  válido para  $15 \text{ } ^\circ\text{C} < t < 35 \text{ } ^\circ\text{C}$ .**

Donde **t** es la temperatura de medición.

La ecuación finalmente modificada es:

$$D_{\text{Fricke}} = \frac{2,75 \times 10^2 \Delta A}{1 + 0,007 (t - 25)} \quad (\text{d})$$

### **PRECISIÓN.**

Los límites de precisión esperados deben estar entre el  $\pm 1\%$  con este sistema, si las precauciones son tomadas apropiadamente, especialmente en el lavado del material de vidrio, pureza de los reactivos, manipuleo de las soluciones así como de ingredientes y sus contenedores.

Fuente: ANS (1772).

**IRRADIADOR “GAMMABEAN 127”.**

El Gammabeam 127 (GB-127) está clasificado como un irradiador panorámico seco de categoría II. Este irradiador de cobalto 60 ha sido diseñado para la irradiación económica de pequeños lotes de productos. Es muy adecuado para insectos (pupas de mosca de la fruta), prueba de alimentos e irradiación en escala piloto que no requiera unos rangos de alto rendimientos como un irradiador de productos de gran escala.

Alrededor del irradiador (GB –127) con una fuente de cobalto 60 se instala un anillo con mesas rotatorias. El radio del anillo es ajustable de manera que le rango de dosis de radiación, el tiempo y el volumen del lote del producto puede ser variado ampliamente.

La configuración puede facilitar la irradiación simultánea de varios lotes de productos o las mesas rotatorias no se blindan unas a otras en ningún momento. La rotación de las mesas rotatorias asegura el buen rango de uniformidad de dosis (DUR), para todas las densidades de productos.

La fuente de (GB–127) tiene una capacidad del orden de 60000 curies de cobalto-60 y es proporcionada dentro de un contenedor de transporte autoblandado F–127. El recipiente sirve como un contenedor para almacenaje de la fuente para blindar o reducir al mínimo la radiación cuando el irradiador no esta en operación.

Cuando la fuente es elevada sobre el contenedor de almacenaje el personal queda protegido por el blindaje biológico de concreto grueso y denso así como el sistema de ínter seguros de seguridad.

Para el procesado del producto final se requiere el mínimo en equipo de servicio y fuerza eléctrica.



**Cámara de Irradiación del Centro de Producción de Moscas  
de la Fruta Estériles – SENASA**

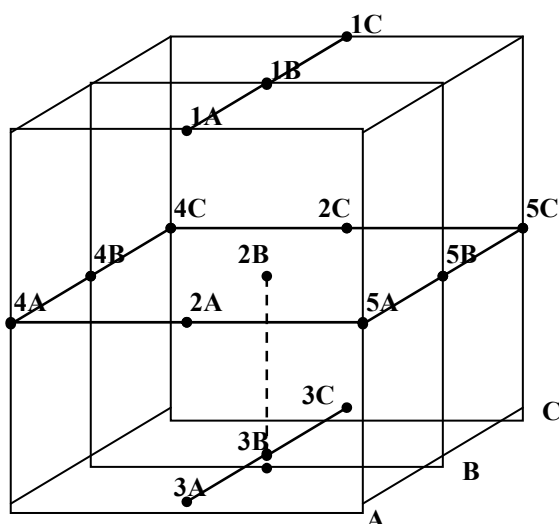
## ANEXO 2

### RESULTADOS DE LA DOSIMETRÍA FRICKE EN MANGOS “HADEN”

#### Mapeo de Dosis.

Para determinar la dosimetría de un producto se requiere primero un mapeo de dosis de absorción. El mapeo de dosis de absorción nos permitirá determinar la distribución de las dosis sobre el volumen del producto y la ubicación de las dosis máxima y mínima. La medición de estas dosis permitirá determinar el tiempo de exposición de cada muestra para las dosis requeridas. (NORDIÓN INTERNATIONAL, 1996).

Como ya se explicó anteriormente, los frutos de mangos serán irradiados en el irradiador panorámico “GAMMABEAM 127”, dentro de cajas de cartón, empaque final para exportación, en grupos de 5 cajas por cada tratamiento (dosis). Por esto se toma el volumen de estas 5 cajas como un solo bloque y se le divide en 3 planos (A, B y C) correspondiendo a la parte delantera, media y posterior respectivamente. Se coloca los dosímetros estratégicamente en los lugares donde se esperan las dosis máxima y mínima. La posición de los dosímetros se muestra a continuación.



A continuación se presentan las lecturas calculadas y corregida, utilizando las ecuaciones (d) y (d) del anexo 1, de los dosímetros y la determinación de las dosis máxima y mínima para abril de 1999.

Tiempo de exposición (min)	Dosis calculada (kGy)	
	Dosis Mínima	Dosis Máxima
20	0,0000	0,0124
40	0,0439	0,1016
60	0,0988	0,1793
90	0,1851	0,3053

Para la determinación de dosis se aplica un ajuste lineal ( $y = a + bx$ )

	a	b (x 60)	r <sup>2</sup>
<b>D min.</b>	- 0,06988	0,16965	0,9997
<b>D max.</b>	- 0,06329	0,24509	0,9995

Los valores de las dosis mínima y máxima son:

Dosis mínima = 0,16965 kGy/h

Dosis máxima = 0,24509 kGy/h

La uniformidad de dosis (UD) se define como  $D_{\max}/D_{\min}$  y es igual a = 1,4446. Para asegurar que los insectos tratados reciban la dosis correspondiente, se usa la dosis mínima para determinar los tiempos de exposición de los mangos para que reciban las dosis requeridas. Si se desea determinar el tiempo de exposición para una dosis de 1,00 kGy, se realiza la siguiente ecuación:

0,16965 kGy ----- 60 min

1,00 kGy ----- X min

**X = 353,40 min**

En el siguiente cuadro se presentan los tiempos calculados para la irradiación de mangos a las dosis requeridas, en el irradiador panorámico “GAMMABEAM 127” usados en los ensayos de la presente investigación.

Dosis (kGy)	Tiempo de exposición
0,15	53.05
0,12	42.44
0,10	35.37
0,075	26.52



### ANEXO 3

#### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL DEL MANGO

Los resultados de la evaluación sensorial del mango de las características de olor, color y sabor se tratan de acuerdo al análisis discriminativo para determinar diferencias, para el caso de presente trabajo se utilizó la prueba Duo-Trio y los datos obtenidos se evalúan con la prueba de Chi-cuadrada ( $X^2$ ) aplicada al Duo-Trio.

El formato de evaluación utilizada fue:

PRUEBA Duo-Trio		
Nombre del panelista:..... Fecha: .....		
Muestra evaluada: ..... Prueba N°: .....		
Deguste las dos muestra en cada ensayo y anote el código de la que es igual a la muestra patrón.		
Ensayo	Muestras	Igual a "P"
1	468 - 583	
2		
Comentarios:		
.....		
.....		
.....		
.....		

## OLOR

### I. Planteamiento de la hipótesis.

- Hp: Existe diferencia entre las muestras en cuanto a olor.
- Ha: No hay diferencia entre las muestras en cuanto a olor.

### II. Elección del nivel de significancia: Igual a 0,05

### III. Tipo de prueba de hipótesis: Chi – cuadrada ( $X^2$ ).

### IV. Suposiciones:

- Los datos siguen un tipo de distribución estadística.
- Las muestras son elegidas aleatoriamente.

### V. Criterios de decisión:

- Se acepta Hp si  $X^2_{\text{calculado}} \leq 0,8445$ .
- Se rechaza Hp si  $X^2_{\text{calculado}} > 0,8445$ .

### VI. Desarrollo de la prueba estadística:

- Cálculo de los valores esperados ( $ei$ ).

$$ei = np_i = 15 \times 0,5 = 7,5$$

El valor de 7,5 será el mismo para las dos clases, por tener ambas clases la misma probabilidad de ocurrencia.

A los valores reales o resultados de la experiencia se les denomina “Valores Observados” ( $O_i$ ), donde:

$$O_i = O_1 = 3 \rightarrow \text{Hay diferencia.}$$

$$O_i = O_2 = 12 \rightarrow \text{No hay diferencia.}$$

### VII. Cálculo de $X^2$ :

$$X^2 = \frac{((O_1 - 7,5) - 0,5)^2}{7,5} + \frac{((O_2 - 7,5) - 0,5)^2}{7,5}$$

$$X^2 = 5,46$$

Del resultado obtenido se puede decir que a un nivel de 0,05 se rechaza Hp.

## COLOR

### I. Planteamiento de la hipótesis.

- Hp: Existe diferencia entre las muestras en cuanto a color.
- Ha: No hay diferencia entre las muestras en cuanto a color.

### II. Elección del nivel de significancia: Igual a 0,05

### III. Tipo de prueba de hipótesis: Chi – cuadrada ( $X^2$ ).

### IV. Suposiciones:

- Los datos siguen un tipo de distribución estadística.
- Las muestras son elegidas aleatoriamente.

### V. Criterios de decisión:

- Se acepta Hp si  $X^2_{\text{calculado}} \leq 0,8445$ .
- Se rechaza Hp si  $X^2_{\text{calculado}} > 0,8445$ .

### VI. Desarrollo de la prueba estadística:

- Cálculo de los valores esperados ( $e_i$ ).

$$e_i = np_i = 15 \times 0,5 = 7,5$$

El valor de 7,5 será el mismo para las dos clases, por tener ambas clases la misma probabilidad de ocurrencia.

A los valores reales o resultados de la experiencia se les denomina “Valores Observados” ( $O_i$ ), donde:

$$O_i = O_1 = 2 \rightarrow \text{Hay diferencia.}$$

$$O_i = O_2 = 13 \rightarrow \text{No hay diferencia.}$$

### VII. Cálculo de $X^2$ :

$$X^2 = \frac{((O_1 - 7,5) - 0,5)^2}{7,5} + \frac{((O_2 - 7,5) - 0,5)^2}{7,5}$$

$$X^2 = 8.13$$

Del resultado obtenido se puede decir que a un nivel de 0,05 se rechaza Hp.

## SABOR

### I. Planteamiento de la hipótesis.

- $H_p$ : Existe diferencia entre las muestras en cuanto al sabor.
- $H_a$ : No hay diferencia entre las muestras en cuanto al sabor.

### II. Elección del nivel de significancia: Igual a 0,05

### III. Tipo de prueba de hipótesis: Chi – cuadrada ( $X^2$ ).

### IV. Suposiciones:

- Los datos siguen un tipo de distribución estadística.
- Las muestras son elegidas aleatoriamente.

### V. Criterios de decisión:

- Se acepta  $H_p$  si  $X^2_{\text{calculado}} \leq 0,8445$ .
- Se rechaza  $H_p$  si  $X^2_{\text{calculado}} > 0,8445$ .

### VI. Desarrollo de la prueba estadística:

- Cálculo de los valores esperados ( $e_i$ ).

$$e_i = np_i = 15 \times 0,5 = 7,5$$

El valor de 7,5 será el mismo para las dos clases, por tener ambas clases la misma probabilidad de ocurrencia.

A los valores reales o resultados de la experiencia se les denomina “Valores Observados” ( $O_i$ ), donde:

$$O_i = O_1 = 4 \rightarrow \text{Hay diferencia.}$$

$$O_i = O_2 = 11 \rightarrow \text{No hay diferencia.}$$

### VII. Cálculo de $X^2$ :

$$X^2 = \frac{((O_1 - 7,5) - 0,5)^2}{7,5} + \frac{((O_2 - 7,5) - 0,5)^2}{7,5}$$

$$X^2 = 3.33$$

Del resultado obtenido se puede decir que a un nivel de 0,05 se rechaza  $H_p$ .

## TEXTURA

### I. Planteamiento de la hipótesis.

- Hp: Existe diferencia entre las muestras en cuanto a textura.
- Ha: No hay diferencia entre las muestras en cuanto a textura.

### II. Elección del nivel de significancia: Igual a 0,05

### III. Tipo de prueba de hipótesis: Chi – cuadrada ( $X^2$ ).

### IV. Suposiciones:

- Los datos siguen un tipo de distribución estadística.
- Las muestras son elegidas aleatoriamente.

### V. Criterios de decisión:

- Se acepta Hp si  $X^2_{\text{calculado}} \leq 0,8445$ .
- Se rechaza Hp si  $X^2_{\text{calculado}} > 0,8445$ .

### VI. Desarrollo de la prueba estadística:

- Cálculo de los valores esperados ( $e_i$ ).

$$e_i = np_i = 15 \times 0,5 = 7,5$$

El valor de 7,5 será el mismo para las dos clases, por tener ambas clases la misma probabilidad de ocurrencia.

A los valores reales o resultados de la experiencia se les denomina “Valores Observados” ( $O_i$ ), donde:

$O_i = O_1 = 3 \rightarrow$  Hay diferencia.

$O_i = O_2 = 12 \rightarrow$  No hay diferencia.

### VII. Cálculo de $X^2$ :

$$X^2 = \frac{((O_1 - 7,5) - 0,5)^2}{7,5} + \frac{((O_2 - 7,5) - 0,5)^2}{7,5}$$

$$X^2 = 5,46$$

Del resultado obtenido se puede decir que a un nivel de 0,05 se rechaza Hp.